



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA

HILDERICA LIMA CAMPOS

**CARACTERIZAÇÃO DAS ÁGUAS DE LAVAGEM DE FILTROS EM ESTAÇÕES
DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE FILTRAÇÃO DIRETA**

Natal

2015

HILDERICA LIMA CAMPOS

**CARACTERIZAÇÃO DE ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS EM ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ÁGUA DE FILTRAÇÃO DIRETA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

Orientador: Profº. Dr. Andre Luis Calado Araujo

Co- Orientador: Profº. Dr. Marco Antonio Calazans Duarte

Natal

2015

UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede.
Catalogação da Publicação na Fonte

Campos, Hilderica Lima.

Caracterização de água de lavagem de filtros em estações de tratamento de água de filtração direta / Hilderica Lima Campos. – Natal, RN, 2015.

74 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Andre Luis Calado Araujo.

Coorientador: Prof. Dr. Marco Antonio Calazans Duarte.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária.

1. Estação de tratamento de água – Dissertação. 2. Resíduos – Dissertação. 3. Água de lavagem de filtros – Dissertação. I. Araujo, Andre Luis Calado. II. Duarte, Marco Antonio Calazans. III. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. IV. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 628.3

HILDERICA LIMA CAMPOS

**CARACTERIZAÇÃO DE ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS EM ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ÁGUA DE FILTRAÇÃO DIRETA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Andre Luis Calado Araujo (IFRN) – Orientador

Prof. Dr. Marco Antonio Calazans Duarte (IFRN) – Co-orientador

Prof. Dr. Cicero Onofre de Andrade Neto (UFRN) – Examinador Interno

Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva (UFC) - Examinador Externo

Natal, 09 de Fevereiro de 2015

AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar o dom da vida, a sabedoria necessária para caminhar nesta estrada da vida, além de todas as portas que Ele tem aberto.

Aos meus pais e irmã pelo apoio em todos os momentos e pelos sacrifícios realizados para que eu chegasse até esta etapa da minha vida.

Ao meu namorado Thelys, que mesmo estando distante geograficamente, era o meu porto seguro e o meu grande incentivador nos momentos de angústia.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte pelos valiosos ensinamentos.

Ao professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Prof. Dr. Marco Antonio Calazans Duarte pela paciência exercida e, especialmente, pelo apoio, ensinamento e acompanhamento durante parte do experimento.

Ao prof. PhD. Andre Luis Calado Araújo, que desde o antigo CEFET/RN, me fez ver o quão apaixonante é o “mundo” da engenharia sanitária e que repassa tanto conhecimento sem mesquinhez e com toda sabedoria.

Ao meu dileto e especial amigo, José Raniery Rodrigues Cirne, por estar comigo em todos momentos do mestrado e da pesquisa, repassando conhecimento e sendo o ombro amigo no qual eu tive sempre apoio.

A todos da CAERN que contribuíram no meu experimento, o engenheiro Canindé, a técnica Francisca, e aos operadores Neto e Júnior.

A todos os colegas da CAGECE, em especial ao Msc. Airton que é o coordenador da UNMPA (Unidade Metropolitana de Macroprodução de Água) o qual me ajudou prontamente nas fases mais difíceis deste mestrado e não se recusou em repassar todo o seu conhecimento e sua experiência.

A Dra. Neuma, gerente do Laboratório Central de Controle de Qualidade da CAGECE e a supervisora Ana Gláucia que me ajudaram no levantamento de dados.

Às amigas Cristiane e Pricila que foram responsáveis por incríveis e descontraídos momentos durante e depois das aulas do mestrado.

A Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como entidade de ensino responsável pela minha pós-graduação.

À CAPES por ter financiado minha bolsa durante o período do mestrado.

RESUMO

O tratamento de água para abastecimento é considerado como um grande benefício, tendo em vista que, se for realizado de forma eficiente, propicia saúde às pessoas. Entretanto, ao considerar que uma ETA (Estação de Tratamento de Água) é uma indústria, pois em seu processo produtivo há insumos e resíduos, é necessário que haja avaliação e monitoramento constantes em cada ETA para verificar a melhor e mais adequada maneira de tratar e dispor seus resíduos, minimizando, portanto, os potenciais impactos ao meio ambiente. Os resíduos mais relevantes em ETA de filtração rápida são os provenientes das águas de lavagem de filtros. A realidade mais observada em nosso país é o lançamento destes resíduos (sem tratamento) em mananciais, os quais são utilizados, na maioria das vezes, como fonte de abastecimento de uma população a jusante. O presente estudo avaliou indicadores quantitativos e qualitativos de água de lavagem de filtros em três ETA - Itaitinga, Maranguape e Pacatuba. Verificou-se que a ETA Maranguape, em termos de capacidade instalada, é a de maior porte. A ETA Itaitinga é a que mais consome água na lavagem de filtros. A ETA Pacatuba exibiu maior concentração de sólidos sedimentáveis e suspensos totais, além de demanda química de oxigênio e alumínio na água de lavagem dos filtros. Os parâmetros sólidos sedimentáveis e sólidos suspensos totais de todas as ETA estavam fora do padrão de lançamento de efluentes em corpo aquático preconizado pela resolução 154/2002 da SEMACE (Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará). Conclui-se que a água de lavagem dos filtros das ETA em estudo ultrapassam os valores permitidos em legislação para serem descartados diretamente em manancial. Sugere-se como alternativa de tratamento de resíduos, a construção de lagoas de sedimentação de lodo e ainda, como forma de reaproveitamento da água, o processo de recirculação.

Palavras Chave: Estação de Tratamento de Água; resíduos; água de lavagem de filtros.

ABSTRACT

The water supply and treatment is considered as a great benefit considering that, if done efficiently, provides public health. However, considering the WTP (Water Treatment Plant) is an industry, with its inputs and waste generation, they must be constantly evaluated and monitored to verify the best and most appropriate way to process and dispose their waste, minimizing therefore the potential impacts to the environment. By volume, the most significant waste is the rapid filter backwash water. It is very common the disposal of this waste without treatment in water sources, which are used, for the most part, as a water supply source of a downstream population. This study evaluated quantitative and qualitative parameters in filter backwash water in three WTP - Itaitinga, Maranguape and Pacatuba, located in Ceará State, northeast of Brazil. It was found that the Maranguape WTP, in terms of treatment capacity, is the larger. The Itaitinga WTP is the one that consumes more water during filters washing. The Pacatuba WTP exhibited higher concentration of total suspended and settleable solids, COD and aluminum in the filters backwash water. It is noteworthy that the settleable solids and total suspended solids in all three WTP are above the effluent discharge standard recommended by Resolution 154/2002 of SEMACE (State Superintendent of Environment of Ceará). It was concluded that the filter backwash water from the study WTP exceeded the allowed values for legislation to be disposed directly into surface water bodies. It is suggested as an alternative to treat and recycle the filter backwashing water the construction of sludge settling ponds.

Keywords: Water Treatment Plant; waste; wash water filters.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa da região metropolitana de Fortaleza.....	24
Figura 2: Fluxograma de funcionamento da ETA Itaitinga.	25
Figura 3: Vista dos filtros 3 e 4 de fluxo ascendente e do reservatório apoiado 02 da ETA Itaitinga.....	26
Figura 4: Vista do ponto de dosagem de coagulante e cloro na ETA Itaitinga	26
Figura 5: Croqui do Sistema de Abastecimento de Água de Itaitinga.	28
Figura 6: Fluxograma de funcionamento da ETA Maranguape.....	30
Figura 7: Croqui do Sistema de Abastecimento de Água de Maranguape.....	31
Figura 8: Filtros e câmara de carga da ETA Maranguape.....	32
Figura 9: Ponto no qual há dosagem de PAC, polímero catiônico e hipoclorito de cálcio.	32
Figura 10: Fluxograma de funcionamento da ETA Pacatuba.	33
Figura 11: Filtros de pressão da ETA Pacatuba.....	33
Figura 12: Vista do ponto de coagulação e pré-cloração da ETA Pacatuba.	33
Figura 13: Sequência que representa a lavagem dos filtros.....	34
Figura 14: Croqui do Sistema de Abastecimento de Água de Pacatuba.	36
Figura 15: Volumes totais de água medidos nas ETA em estudo	40
Figura 16: Consumo de água com lavagem de filtros nas ETA em estudo.....	41
Figura 17: Variação das concentrações anuais de coagulante (PAC23) e polímero catiônico	43
Figura 18: Variação das médias anuais das taxas de filtração	46
Figura 19: Médias anuais das variáveis nas águas de lavagem dos filtros nas ETA avaliadas	48
Figura 20: Médias, desvios padrões e faixas de variações de sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos totais (SST), DQO e alumínio durante o período de 2009-2014 ..	49
Figura 21: Comparação entre as médias anuais de sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos totais e DQO nas ETA avaliadas.....	51
Figura 22: Comparação entre as médias de sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos totais e DQO para os dados agrupados anualmente	52
Figura 23: Comparação entre as médias de sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos totais e DQO para os dados agrupados por ETA.....	52
Figura 24: Lagoa de sedimentação de lodo da ETA Extremoz (Natal/RN).....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Camadas filtrantes presente nos filtros da ETA Itaitinga	27
Tabela 2: Camadas filtrantes presente nos filtros da ETA Maranguape.....	30
Tabela 3: Camadas filtrantes presente nos filtros da ETA Pacatuba	35
Tabela 4: Parâmetros e metodologias utilizados no experimento.	37
Tabela 5: Acondicionamento e preservação das amostras	38
Tabela 6: Parâmetros quantitativos estimados.....	38
Tabela 7: Volumes de água medidos nas ETA em estudo durante o período de 2009-2014	39
Tabela 8: Quantitativos de produtos químicos utilizados para o tratamento da água durante o período de 2009-2014 nas ETA em estudo.....	43
Tabela 9: Médias da avaliação qualitativa da água bruta e tratada nas ETA em estudo durante o período de 2009-2014	44
Tabela 10: Caracterização média das águas de lavagem das ETA avaliadas	45
Tabela 11: Resumo das características físicas e operacionais das unidades de filtração.....	45
Tabela 12: Padrões de lançamento de efluentes segundo a legislação estadual (Portaria 154/2002, SEMACE, Artigo 4º).....	46
Tabela 13: Estimativa das cargas diárias dos efluentes de lavagem dos filtros nas ETA avaliadas	47
Tabela 14: Correlações significativas entre as variáveis monitoradas	49

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COGERH	Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará
ETA	Estação de Tratamento de Água
EE	Estação Elevatória
FDA	Filtração Direta Ascendente
DFI	Descarga de fundo intermediária
FP	Filtro de Pressão
FA	Filtro Ascendente
GECOQ	Gerência de Controle de Qualidade
PAC	Cloreto de Polialumínio
PAN	Poliacrilonitrila
POP	Procedimento Operacional Padrão
RAP	Reservatório Apoiado
REL	Reservatório Elevado
SST	Sólidos Suspensos Totais
SS	Sólidos Sedimentáveis
SCO	Sistema de Controle Operacional
SEMACE	Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará
VMP	Valor Máximo Permitido

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	6
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS	8
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	9
SUMÁRIO	10
1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3 REVISÃO DA LITERATURA	14
3.1 CONCEITO DOS RESÍDUOS GERADOS EM ETA.....	14
3.2 CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS GERADOS EM ETA	14
3.3 MÉTODOS DE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS.....	16
3.4 RECIRCULAÇÃO DA FASE LÍQUIDA	22
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
4.1 ETA Itaitinga.....	25
4.2 ETA Maranguape	29
4.3 ETA Pacatuba	32
4.4 Procedimentos específicos	37
4.5 Análise estatística dos dados	38
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1 Variáveis quantitativas	39
5.2 Variáveis Qualitativas.....	44
5.2.1 Água bruta e tratada	44
5.2.2 Água de lavagem de filtros.....	45
5.3 Discussão.....	52
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	55
7. REFERÊNCIAS.....	56
ANEXO A	60
ANEXO B	65

1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, a poluição de corpos hídricos é bastante evidente. Uma das formas frequentes de despejo de contaminantes em mananciais é a descarga de efluentes oriundos de Estação de Tratamento de Água (ETA). Estes são gerados, principalmente, na lavagem dos filtros e na descarga de decantador.

Diversas são as formas existentes para realizar o tratamento e disposição final destes efluentes. Entretanto, o descarte destes resíduos em mananciais ainda é bastante comum no Brasil, tendo em vista a dificuldade no gerenciamento e na busca de uma metodologia que seja mais adequada. Os órgãos ambientais têm sido fundamentais na cobrança de soluções ambientalmente corretas, entretanto, muitas ETA possuem configurações antigas em que os projetos não direcionavam nenhuma ação para tratamento de efluentes. Apenas os transferia para um corpo receptor, que, na maioria das vezes, seria o mesmo no qual havia a captação de água bruta.

Diante disto, as empresas de saneamento devem encontrar soluções mais adequadas e, para tanto, é necessário ter estudos mais aprofundados das características da ETA, além de investimentos em recursos humanos. Sabe-se que as ETA possuem grandes entraves na disposição e condicionamento corretos dos resíduos gerados, visto que é uma “operação unitária” dispendiosa quanto ao custo e que apresenta um grande passivo ambiental.

Os resíduos provenientes de ETA possuem elevado potencial de poluição e contaminação, devido à presença de impurezas removidas da água bruta e de compostos químicos resultantes da adição de coagulantes e condicionantes, durante o processo de tratamento. Dependendo das peculiaridades da água bruta, pode-se ter maior ou menor presença de material orgânico (substâncias húmicas que conferem cor à água, organismos planctônicos, bactérias, protozoários, vírus, etc) e inorgânico (formado por areia, argila e silte). Diante desta complexidade de fatores, é necessário o desenvolvimento de estudos que realizem a caracterização dos resíduos, com a finalidade de propor técnicas mais adequadas para o seu tratamento e disposição final, de forma que estas sejam condizentes com as peculiaridades e realidade de cada ETA (SCALIZE, 2003).

A CAGECE (Companhia de Água e Esgoto do Ceará) possui um índice de cobertura de abastecimento de água de 98,01% no estado do Ceará, atendendo a

251 localidades com 150 unidades de tratamento de água, em sua maioria, utilizando a filtração direta ascendente (FDA). Esta tecnologia tem sido a mais adotada na companhia há alguns anos tendo em vista que era uma solução que se mostrava mais compatível com as características dos mananciais. Porém, nos dias atuais esta tecnologia já não se adequa tão bem à realidade em que se encontram os mananciais tendo em vista que estes, em sua maioria, estão eutrofizados. Desta forma, os sistemas têm que trabalhar com sobrecarga de filtros e grande perda de água por causa da necessidade de constantes lavagens dos filtros para atender o padrão de qualidade estabelecido (LIMA, 2009).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar a caracterização de três ETA cuja tecnologia de tratamento utilizada é filtração direta.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar água bruta, tratada e a água resultante da lavagem dos filtros de cada ETA;
- Avaliar a dosagem de produtos químicos utilizados no tratamento da água;
- Estimar as cargas de sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos, DQO e alumínio oriundas da lavagem dos filtros nas ETA;
- Verificar o consumo de água na lavagem dos filtros.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 CONCEITO DOS RESÍDUOS GERADOS EM ETA

Em geral, as Estações de Tratamento de Água (ETA) são projetadas com o objetivo principal de potabilizar a água atingindo as recomendações da Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011). Nos processos de tratamento, além da produção de água clarificada, são gerados basicamente dois tipos de resíduos: o lodo dos decantadores e a água de lavagem dos filtros. Os resíduos gerados em ETA consistem em uma combinação entre fase sólida e líquida, em que a maior parcela corresponde à fase líquida. Assim, as características dos resíduos preconizam sistemas que reduzam a água e que propiciem a redução de volume de forma a viabilizar um melhor gerenciamento (BARROSO, 2007).

No presente trabalho, o termo resíduo de ETA se refere exatamente àquele proveniente da lavagem dos filtros.

A NBR 10.004/2004 classifica os lodos provenientes de ETA como resíduos sólidos, conforme a seguinte conceituação:

“Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água (...).”

Segundo Souza (2011), no que se refere à lavagem dos filtros, pode-se dizer que o método, a duração e a periodicidade das lavagens, dentre outros fatores, determinam a qualidade e a quantidade dos resíduos gerados. Estes são compostos principalmente por partículas argilosas muito finas, que não sedimentam nos decantadores. A lavagem dos filtros, geralmente, é realizada em intervalos de 12 a 48 horas e, o tempo de lavagem dura entre 4 e 15 minutos, sendo, o final da lavagem geralmente é determinado pela observação da clarificação da água presente sobre o leito filtrante ou por redução da turbidez conforme análise laboratorial.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS GERADOS EM ETA

Em termos de volume, a água de lavagem de filtros representa cerca de 2% a 5% da água tratada numa ETA (VIGNESWARAN *et al.*, 1996) e sua concentração de sólidos suspensos geralmente varia entre 100 a 500 mg/L. Em termos de carga

de sólidos, Sotero-Santos *et al.* (2005) verificaram em três ETA de ciclo completo, no Estado de São Paulo, que as descargas de decantadores representam 72%, enquanto que as águas de lavagem de filtros representam os 28% restantes.

As características dos resíduos produzidos em uma ETA, especialmente sua quantidade e qualidade, dependem de vários fatores, como: i) qualidade da água bruta e tecnologia de tratamento; ii) características da coagulação, tipo e dosagem de coagulante e de alcalinizante ou de acidificante; iii) uso, característica e dosagem do auxiliar de coagulação (floculação ou filtração); iv) uso de oxidante e adsorvente (carvão ativado pulverizado); v) método de limpeza dos decantadores (ou flotadores); vi) técnica de lavagem dos filtros; vii) habilidade dos operadores; viii) automação de processos e operações da ETA; e ix) reúso da água recuperada no sistema de tratamento (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008).

Para a caracterização dos resíduos existentes em uma ETA, é necessário que haja um monitoramento do funcionamento das diferentes unidades de tratamento. Este monitoramento deve cobrir as variações da qualidade da água bruta durante todas as estações climáticas de um ano. Se não houver registros de operação da ETA, pode ser efetuado um levantamento do funcionamento de cada unidade de tratamento (decantadores ou flotadores e filtros) e relacionar a quantidade de sólidos suspensos totais retidos por meio do balanço de massas e comparar os resultados obtidos com equações empíricas. Em ETA que se encontra em fase de projeto, a quantidade de sólidos pode ser estimada pelo uso de equações, porém, é extremamente difícil estimar a qualidade dos resíduos sem que se tenham dados confiáveis da qualidade da água bruta a ser tratada e das características dos produtos químicos a serem empregados (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008).

Os volumes e as concentrações de sólidos suspensos totais (SST) nas limpezas (ou descargas) de decantadores e na água de lavagem dos filtros, dependem da qualidade da água bruta, tipo de tratamento, método de remoção de lodo, técnica de lavagem de filtros etc. Segundo a AWWA (1999), em ETA de ciclo completo, a vazão de descarga de resíduos oriundos de um decantador oscila entre 0,1 e 3,0 % da vazão de água clarificada nessa unidade, com concentração de SST geralmente compreendida entre 1 e 20 g/L, podendo chegar até 30 g/L, enquanto o volume de água de lavagem dos filtros pode variar entre 1 e 5% do volume tratado

diariamente com concentração de SST, geralmente, compreendida entre 200 e 600 mg/L.

As características da água proveniente da lavagem dos filtros possuem uma variação de acordo com: o tipo de ETA, as impurezas contidas na água bruta, o tipo de coagulante e os insumos utilizados no tratamento (FREITAS, 2007). De acordo com Di Bernardo e Sabogal Paz (2008), o volume e a concentração de SST da água de lavagem de filtro variam em função da qualidade do afluente e efluente, do método de lavagem e da forma de operação dos filtros. Geralmente, a concentração de SST varia entre 100 e 600 mg/L.

O resíduo proveniente das águas de lavagem de filtros apresenta um sério problema para as instituições que gerenciam tais sistemas, tendo em vista o elevado custo para tratamento e destinação final. No Brasil estes resíduos são regulamentados pela Resolução nº 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que estabelece condições e padrões de lançamento de efluentes de qualquer fonte poluidora, de forma a exigir que o efluente seja previamente tratado quando lançado direta ou indiretamente em corpos d'água. Se não houver o tratamento adequado, pode ser configurado um crime ambiental conforme preconiza a Lei nº 9.605/98, de forma que a empresa poluidora fica sujeita a penalidade civil, administrativa e criminal (CHAVES, 2012). No estado do Ceará, a lei que regulamenta o lançamento de efluentes (na qual os resíduos de lavagem de filtros estão inclusos) é a Portaria Nº 154/2002 da SEMACE (Superintendência Estadual do Meio Ambiente).

Entretanto, verifica-se que ainda não há regulamentação específica que padronize limites na quantidade e qualidade do lodo utilizado em cada uma das alternativas de aproveitamento e de disposição dos resíduos. Desta forma, é necessário apropriação técnica sobre o tema, realizando análises de laboratório e/ou em escala piloto para indicar a técnica mais viável e eficiente para o tratamento dos resíduos (FREITAS *et al*, 2010).

3.3 MÉTODOS DE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS

As ETA produzem uma quantidade significativa de lodos. Tradicionalmente estes resíduos são lançados diretamente em corpos aquáticos ou lançados em redes coletoras de esgotos. Com as pressões das autoridades ambientais, existe

uma necessidade de se buscar alternativas viáveis para o seu tratamento/disposição final (VIGNESWARAN *et al.*, 1996).

O interesse pelo tratamento, aproveitamento e disposição adequada dos resíduos de ETA é assunto relativamente novo no Brasil. Pode-se dizer que o tratamento e a recirculação de água de lavagem de filtros em ETA no Brasil, nos dias atuais, não são regulados por normas técnicas ou legislação específicas. Porém, a necessidade de melhorar a eficiência e reduzir os gastos nas ETA tem contribuído para o aumento do interesse e para a implantação em escala real da recirculação da água de lavagem de filtros.

Para que haja um melhor aproveitamento desta prática é necessária adequada abordagem técnica desta questão, incluindo o entendimento dos riscos potenciais à saúde dos consumidores. Na literatura nacional são escassos os registros de trabalhos sobre os efeitos da concentração dos metais e outros contaminantes na qualidade da água para consumo humano devido à recirculação de água de lavagem dos filtros (CAMPOS, 2014).

Uma das alternativas mais comuns de gestão de lodos de ETA é o seu encaminhamento para os aterros sanitários, necessitando de uma etapa prévia de desidratação para diminuição dos volumes a serem dispostos. Por sua vez, leitos de secagem, são a forma predominante de desidratação, devido a sua eficiência, simplicidade operacional e baixo custo. Contudo necessitam de grandes áreas para sua implantação inviabilizando o seu uso em muitos casos (VIGNESWARAN *et al.*, 1996).

Outra prática bastante adotada é a recirculação da água de lavagem dos filtros para a entrada da ETA. No entanto, vários autores destacam que estas águas, além dos contaminantes naturais presentes nas águas dos mananciais (sólidos suspensos, matéria orgânica natural, microrganismos, etc.), também apresentam resíduos dos produtos químicos utilizados no tratamento, tais como sulfato de alumínio, cloreto férrico, etc., podendo prejudicar a eficiência do tratamento (CORNWELL *et al.*, 2001; EDZWALD *et al.*, 2001; ARORA *et al.*, 2001; BOURGEOIS *et al.*, 2004). Dessa forma, qualidade e quantidade de água a serem recirculadas exercem grande influência no processo e eficiência de tratamento.

Algumas características precisam ser consideradas para a definição dos métodos comumente utilizados no tratamento do lodo, entre estas tem-se:

equalização, regularização, condicionamento, adensamento, desaguamento e, em alguns casos, secagem e incineração. O objetivo destas técnicas é reduzir o volume da fase líquida do resíduo até determinada concentração de sólidos, em função das opções de aproveitamento, de disposição e da possibilidade de novamente empregar a água clarificada no sistema (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008).

Na Austrália, Dharmappa *et al.* (1997) avaliaram a eficiência de leitos de secagem para a desidratação de lodos de descarga de decantadores e água de lavagem de filtros. Os autores verificaram maiores taxas de drenagem após o pré-condicionamento químico dos resíduos utilizando diferentes tipos de polímeros, indicando a possibilidade de redução das áreas dos leitos de secagem.

Haarhoff *et al.* (2001) mapearam a gestão dos resíduos gerados em uma ETA, na África do Sul, em trinta anos de operação. No início da operação da ETA em 1972, quando a capacidade de tratamento era de 18.000 m³/d, os resíduos eram encaminhados para uma lagoa de decantação e seus efluentes retornavam, sem nenhum tratamento complementar ao manancial de captação.

No final da década de 1980, com a necessidade de tratar mais água e a piora na qualidade da água do manancial, as descargas de lodo dos decantadores e lavagens de filtros se tornaram mais frequentes, sobrecarregando a lagoa de decantação. Vários estudos foram realizados com sistemas mecanizados de desidratação de lodos e, foi concluído que, a longo prazo, a lagoa de decantação ainda era a solução mais viável. Duas novas lagoas foram construídas (11.000 m³ cada) e seus efluentes eram encaminhados novamente para a entrada da ETA (100 m³/h). Os autores destacaram que, embora a operação de limpeza das lagoas fosse bastante dispendiosa e consumisse alguns meses de trabalho, apenas com a economia alcançada com a recirculação dos efluentes das lagoas já justificava toda a operação de limpeza. No final da década de 1990, com o aumento da capacidade de tratamento da ETA para 210.000 m³/d, duas novas lagoas foram construídas (32.000 m³ cada), possibilitando uma recirculação de 330 a 480 m³/h. A longo prazo eles observaram uma produção de sólidos na faixa de 50 a 100 g/m³.

Várias pesquisas foram realizadas avaliando a utilização de membranas no tratamento de águas de lavagem de filtros de ETA (REISSMANN *et al.*, 2005).

Reissmann e Uhl (2006), verificaram que na Alemanha, por exemplo, as águas residuais de ETA só podem ser reutilizadas após a infiltração no solo ou

aplicando alguma técnica com eficiência similar, tais como as membranas. Dessa forma, várias ETA estão adotando essa tecnologia como alternativa para o tratamento das águas residuais. Os referidos pesquisadores avaliaram membranas submersas de ultrafiltração, em escala piloto, para o tratamento de água de lavagem de filtros após serem decantadas e sem decantação prévia. Os experimentos atingiram fluxos de até 40 L/m².h com concentrações de sólidos suspensos totais nos concentrados de até 6 g/L possibilitando até 90% de recuperação da água de lavagem dos filtros. Os autores concluíram que não há necessidade de decantar a água de lavagem antes de passar pelas membranas.

Weiyang *et al.* (2010) estudaram, em escala piloto, a aplicação de membranas cerâmicas para o tratamento das águas residuais de uma ETA no Japão. As águas de lavagem de filtros apresentavam concentrações de sólidos suspensos entre 30 e 60 mg/L e após a filtração nas membranas, com taxa de 4 m³/m².d, apresentava turbidez em torno de 0,1 UNT. Em experimentos misturando a água de lavagem de filtros com o lodo de descarga dos decantadores, com concentrações médias de sólidos suspensos de 680 mg/L, também foi atingido o mesmo valor de turbidez (0,1 UNT), após filtração com uma taxa de 4 m³/m².d. Os autores destacam que em todos os experimentos a água filtrada atingiu o padrão para consumo no Japão, possibilitando ainda a recuperação de 86 a 98% das águas residuais.

Vigneswaran *et al.* (1996) avaliaram membranas cerâmicas de microfiltração, com fluxo tangencial (*cross-flow*), no tratamento de águas de lavagem de filtros e comprovaram sua aplicabilidade técnica e elevada eficiência independentemente da concentração afluente. As membranas foram capazes de reduzir a turbidez de 200 – 300 UNT para 0,2 – 1,5 UNT e virtualmente todas as bactérias foram removidas, assim como o alumínio. Utilizando frequência e tempos ideais de retrolavagem (1 minuto e 1 segundo, respectivamente) das membranas a produtividade total do sistema foi de 1 m³/m².h.

Em uma ETA na Holanda, membranas tubulares poliméricas de ultrafiltração foram utilizadas para o tratamento de 100 m³/h de água de lavagem de filtros. Cada módulo de filtração era composto por 3000 membranas tubulares com 1,5 mm de diâmetro, 0,03 mm de abertura de poros e 15 m². O tratamento permitiu a recuperação de mais de 90% da água de lavagem que é desinfetada através de

radiação ultravioleta e encaminhada para o consumo humano, diminuindo a perda de água na ETA para menos de 0,5% (VOS *et al.*, 1997).

Também em escala real, na Bélgica, Dotremont *et al.* (1999) avaliaram as membranas de ultrafiltração no tratamento das águas residuárias de quatro ETA. Em uma das ETA a água de lavagem dos filtros era filtrada diretamente enquanto que nas demais a água de lavagem era encaminhada para decantadores e apenas o sobrenadante era filtrado. Em três das ETA a ultrafiltração foi avaliada com uma técnica viável, produzindo um percolado com excelente qualidade microbiológica e inorgânica, permitindo a recuperação de até 99,5% da água residual. A presença de polímeros e compostos orgânicos na água residual em uma das ETA resultou em condições instáveis de operação das membranas.

Estudos em escala piloto com membranas poliméricas de ultrafiltração também foram realizados em ETA, na Alemanha por Brugger (2000). Este autor avaliou dois tipos de membranas, com capacidade para tratar até 150 L/m².h e que foram operadas em ciclos de filtração de 100 a 120 minutos e limpeza de 5 minutos. Em média, as membranas proporcionaram uma recuperação de 95% da água de lavagem dos filtros rápidos da ETA e durante os três meses de operação dos módulos de ultrafiltração não foi necessária a realização de limpeza química das membranas. Posteriormente aos estudos em escala piloto foi implantada uma planta com membranas de Poliacrilonitrila (PAN) com área filtrante de 200 m² e capacidade de 350 m³/d.

Após a realização de estudos em laboratório que demonstraram a viabilidade do aproveitamento da água de lavagem de filtros através do uso de membranas, Willemse e Brekvoort (1999) avaliaram a técnica em escala real em ETA na cidade de Eindhoven, Holanda. Módulos de ultrafiltração dimensionados para uma taxa de 170 L/m².h.bar e capacidade total de tratamento de 120 m³/.h, foram instalados após um tanque de clarificação, com raspagem mecanizada de lodo, que recebia o efluente de lavagem dos filtros, e funcionava também como tanque de equalização. Os lodos removidos eram encaminhados para a rede de esgotamento sanitário e o efluente clarificado era filtrado pelas membranas. Em mais de um ano de avaliação eles verificaram que o sistema operou de forma estável com uma taxa média de 160 L/m².h.bar. O custo foi de 0,15 kWh/m³, com e recuperação de 93% da água de lavagem dos filtros. A água da água de lavagem apresentava turbidez geralmente

acima de 1000 UNT a qual foi reduzida para valores inferiores a 0,03 UNT. Todos os parâmetros, avaliados na água após a filtração nas membranas, atingiram o padrão para consumo humano adotado na Holanda.

Estudos em laboratório realizados por Guan *et al.* (2005) avaliaram o uso do lodo de decantadores de ETA para a precipitação química de esgotos domésticos. Diversas combinações de fatores foram avaliadas em equipamento de jar-teste e demonstraram que a eficiência de remoção de sólidos suspensos e DQO (Demanda Química de Oxigênio) aumentaram em 20 e 15%, respectivamente, em relação aos controles (sem adição de lodo).

Com uma abordagem diferente, mas com o mesmo objetivo, Xu *et al.* (2009) empregaram o processo de acidificação para a recuperação do alumínio em lodos de ETA para posterior utilização na etapa de precipitação química de esgotos. Eles observaram que o processo de recuperação reduz o volume de lodo produzido na ETA e que a sua utilização no tratamento de esgoto é capaz de produzir resultados similares ao verificados com o coagulante original. A turbidez e DQO do esgoto foram reduzidas em 96 e 56%, respectivamente.

Por outro lado, Razali *et al.* (2007) realizando estudos em laboratório com uso de lodos desidratados de ETA, com elevados teores residuais de alumínio, verificaram o potencial dos lodos na remoção de espécies de fósforo presente em esgotos. Segundo os autores os lodos têm uma elevada capacidade de adsorção de fósforo, podendo atingir eficiências de remoções de até 80%.

Raj *et al.* (2008) avaliando ETA em Singapura, observaram que para lavar cada filtro eram gastos de 40 a 50 m³/min de água tratada gerando uma perda de 2% da água produzida. Verificaram ainda que a água de lavagem juntamente com as descargas de decantadores eram encaminhadas para lagoas de decantação e que o efluente era encaminhado para a rede coletora de esgotos. Para aproveitar a água residual da ETA, os autores avaliaram uma estação em escala piloto composta por módulos de clarificação, filtração em areia e filtração em membranas de ultrafiltração, com capacidade de 70 m³/d. A turbidez na água de lavagem variou entre 1 e 300 UNT e apresentou-se praticamente constante no efluente de clarificador (5 UNT) do filtro de areia (1 UNT) e das membranas (< 1 UNT). Foi concluído que o sistema piloto foi capaz de produzir água com padrão para consumo humano e que os módulos de clarificação e filtração foram essenciais para se atingir

tal objetivo. Embora as membranas não tenham desempenhado um papel chave no tratamento eles destacaram a sua importância para a remoção de protozoários.

3.4 RECIRCULAÇÃO DA FASE LÍQUIDA

De acordo com Oliveira, Barcelo e Colares (2012) é importante levar em consideração a escassez de água a nível mundial e, para isto, é necessário que haja o desenvolvimento de técnicas que visem a otimização e reutilização da água oriunda do processo de tratamento de modo a minimizar a contaminação e o desperdício desta.

Para que estas técnicas sejam desenvolvidas, torna-se imprescindível caracterizar os resíduos de modo a conhecer o quantitativo de sólidos que são produzidos nos processos de tratamento, como é o caso da lavagem de filtros de ETA (PEREIRA; ARAÚJO, 2014).

Uma das alternativas mais difundidas para aproveitar a água de lavagem dos filtros é a recirculação. Entretanto, após a sedimentação dos resíduos gerados nas ETA, o encaminhamento da água clarificada para o início do tratamento, pode recircular metais pesados, subprodutos da desinfecção e microorganismos, devendo tal prática ser avaliada com cuidado (REISSMANN e UHL, 2006).

Tobiason *et al.* (2003) verificaram, em escala real, que a recirculação de 10 a 40% da água residual na ETA provocava um leve aumento nas concentrações de turbidez nos efluentes dos decantadores. No entanto, para uma taxa de até 20% e com o pH em torno de 7, nenhuma alteração foi observada nos efluentes dos filtros rápidos.

Edzwald *et al.* (2003) constataram, em estudo em escala piloto, que com a recirculação de 10% da água residual não foram detectados oocistos de *Cryptosporidium* nos efluentes dos filtros. Através de ensaios de equipamento jar-teste, Gottfried *et al.* (2008) avaliaram o impacto da recirculação de 5 e 10% da água de lavagem de filtros e de membranas, nos processos de coagulação, floculação e sedimentação. A recirculação da água de lavagem dos filtros, que contém resíduos de sulfato de alumínio, aumentou a eficiência de remoção de carbono orgânico total e matéria orgânica natural. Com a recirculação da água de lavagem das membranas, nas quais não é utilizado nenhum coagulante, os resultados foram

semelhantes aos controles. Os autores concluíram que a recirculação da água de lavagem de filtros, contendo partículas desestabilizadas, favorece o tratamento da água com baixas concentrações de turbidez e matéria orgânica natural.

McCormick e Walsh (2010), estudaram as concentrações e formação de subprodutos da desinfecção nas águas de lavagem de filtros de quatro ETA no Canadá, e avaliaram o impacto da recirculação dessas águas nas ETA. Os resultados demonstraram que o material particulado presente nas águas de lavagem pode reagir com o cloro residual para formar trialometanos e ácidos haloacéticos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa foi realizada em três Estações de Tratamento de Água localizadas (conforme figura 1) no Estado do Ceará: ETA Pacatuba, ETA Itaitinga e ETA Maranguape. A escolha das unidades de estudo se deu, principalmente, pela facilidade de acesso, por ficarem próximas à região metropolitana de Fortaleza, serem constantemente monitoradas e também pela disponibilidade de dados de monitoramento destas unidades. Os dados quantitativos foram levantados a partir do Sistema de Controle Operacional (SCO) da CAGECE (Companhia de Água e Esgoto do Ceará) que pode ser acessado por colaboradores da referida empresa. Os dados qualitativos foram levantados a partir de laudos fornecidos pelo laboratório da GECOQ (Gerência de Controle de Qualidade) da CAGECE e são referentes ao período de janeiro de 2009 a junho de 2014.

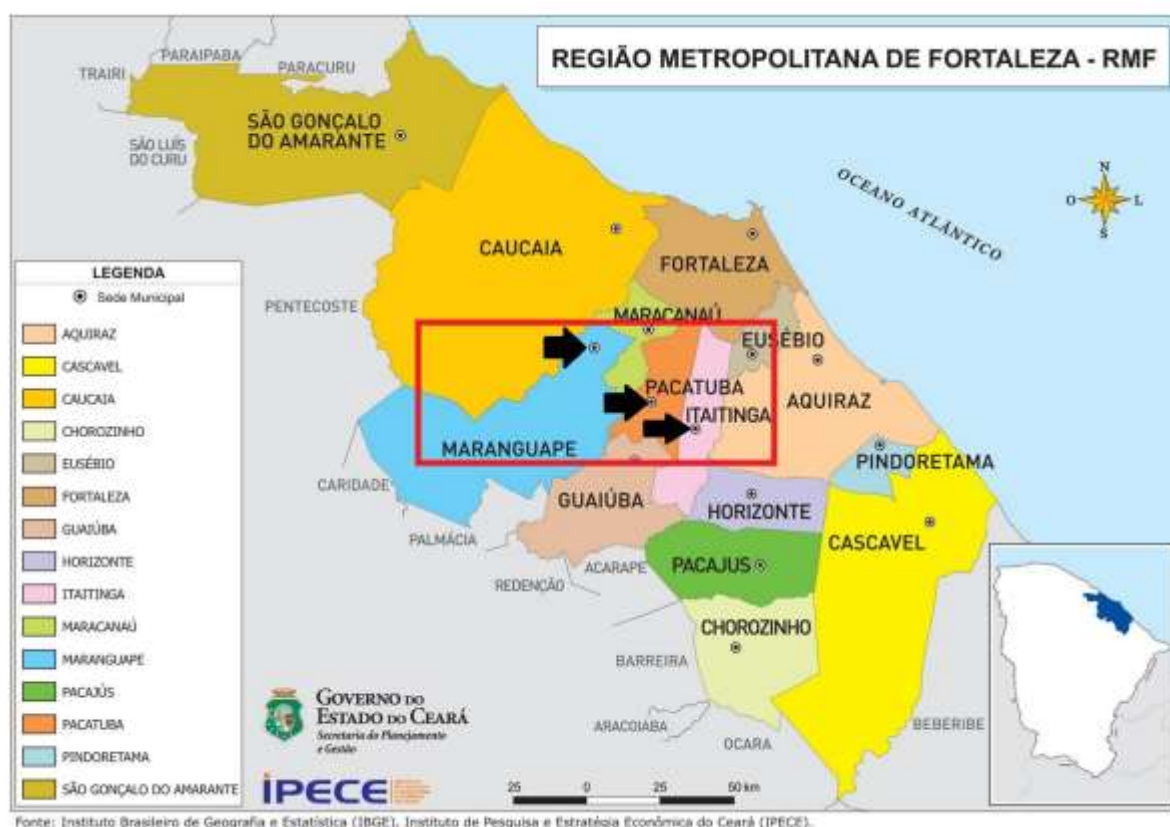
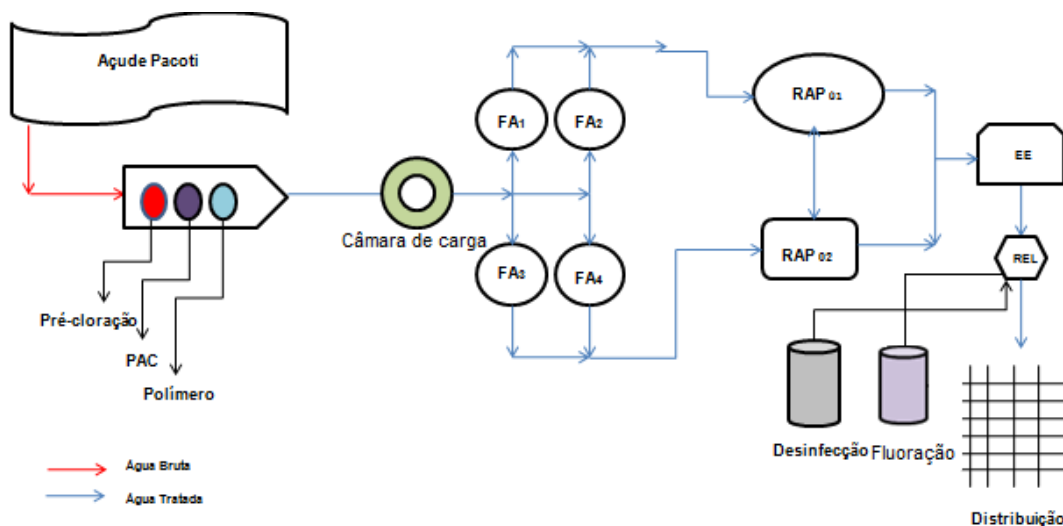


Figura 1: Mapa da região metropolitana de Fortaleza.

4.1 ETA Itaitinga

A ETA Itaitinga (Figura 2) está localizada à 29,1 Km da cidade de Fortaleza (CE), com as seguintes coordenadas geográficas 03° 58' 08" S e 38° 31' 40" O. A ETA possui capacidade de 66,67 L/s e utiliza a tecnologia de filtração direta ascendente com captação de água bruta do Rio Pacoti.

O sistema de abastecimento conta com uma rede de distribuição de água com extensão de 78.713 m, projetada para um consumo *per capita* médio de 150 L/hab.d. Atualmente o sistema tem 6.045 ligações ativas com um *per capita* de 106,38 L/hab.d, capacidade de 240 m³/h e vazão média de 157,9 m³/h, além de um consumo de energia de 0,49 kWh/m³.



Legenda: FA – Filtro Ascendente; RAP – Reservatório Apoiado; REL – Reservatório Elevado; EE – Estação Elevatória.

Figura 2: Fluxograma de funcionamento da ETA Itaitinga.

A ETA possui quatro filtros de fluxo ascendente de concreto armado (Figura 3) com área individual de 8,00 m². Cada filtro tem uma vazão máxima de 60 m³/h, totalizando 240 m³/h. A taxa de filtração adotada no projeto foi de 180 m³/m².d.



Figura 3: Vista dos filtros 3 e 4 de fluxo ascendente e reservatório apoiado 02 da ETA Itaitinga.

Segundo acompanhamento *in loco*, informações dadas pelo operador e inspeção visual, a cada 12 h um filtro é lavado, com água tratada, durante 10 a 15 minutos, sendo interrompida quando a água de lavagem está visualmente límpida. Toda a água utilizada durante a lavagem é encaminhada sem tratamento para o Rio Pacoti (o mesmo que abastece a ETA).

A coagulação é realizada com Cloreto de Polialumínio (PAC 23%), o auxiliar de coagulação é o polímero catiônico líquido (Figura 4) e há pré-cloração e pós-cloração com cloro gasoso – Cl_2 e, por fim, há adição de fluossilicato de sódio - Na_2SiF_6 .

A Figura 5 apresenta o fluxograma geral do sistema de abastecimento de água de Itaitinga.



Figura 4: Vista do ponto de dosagem de coagulante e cloro na ETA Itaitinga

As camadas do meio filtrante (Tabela 1) da ETA Itaitinga estão dispostas da seguinte maneira:

Tabela 1: Camadas filtrante presente nos filtros da ETA Itaitinga.

Camada	Meio filtrante	Tamanho da camada
1	areia 0,59 – 2,00 mm	160 cm
2	pedregulho 2,36 – 3,36 mm	15,0 cm
3	pedregulho 3,36 – 6,40 mm	15,0 cm
4	pedregulho 6,40 – 12,70 mm	7,5 cm
5	pedregulho 12,70 – 19,00 mm	7,5 cm
6	pedregulho 19,00 – 25,40 mm	25,0 cm

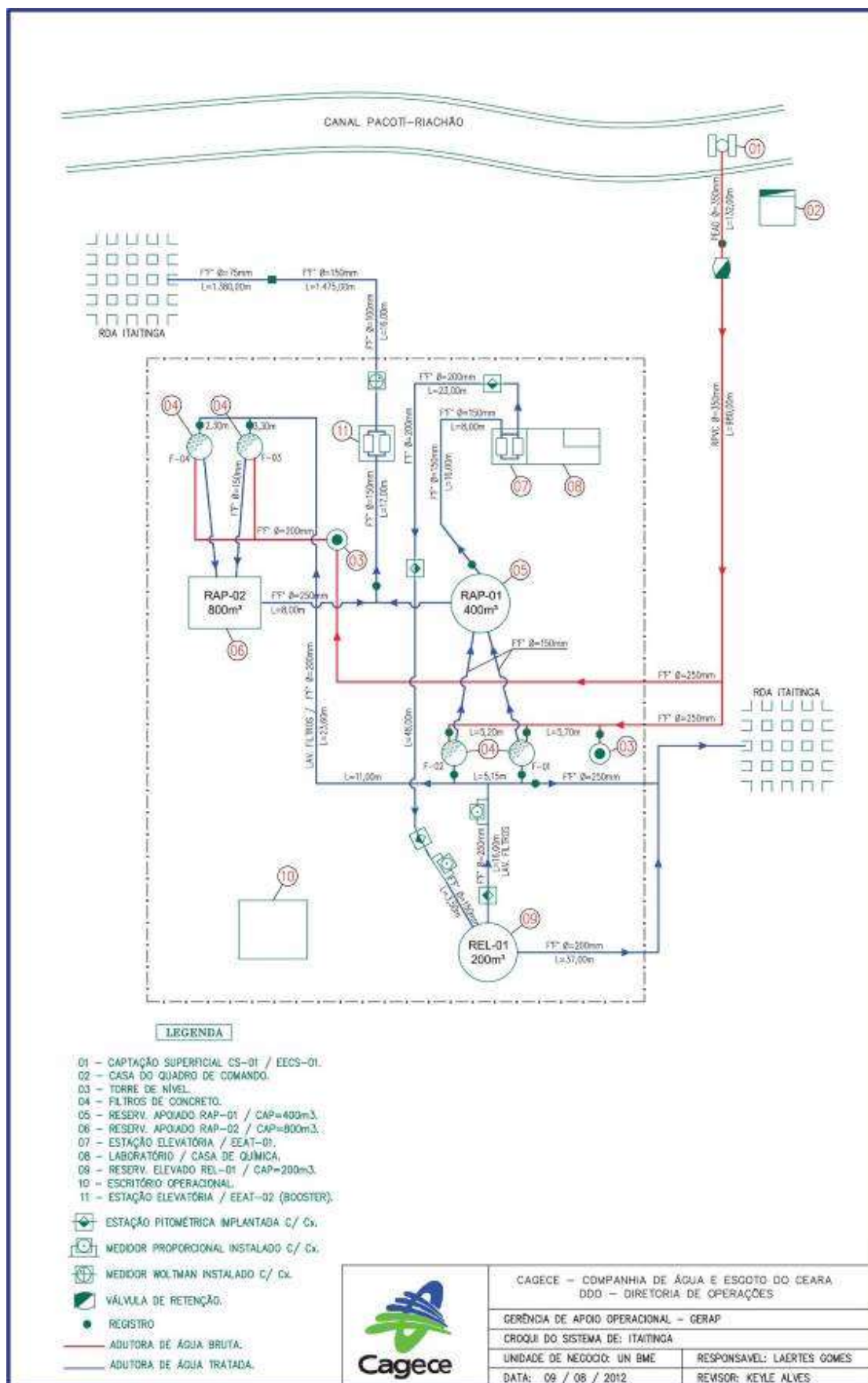


Figura 5: Croqui do Sistema de Abastecimento de Água de Itaitinga.

4.2 ETA Maranguape

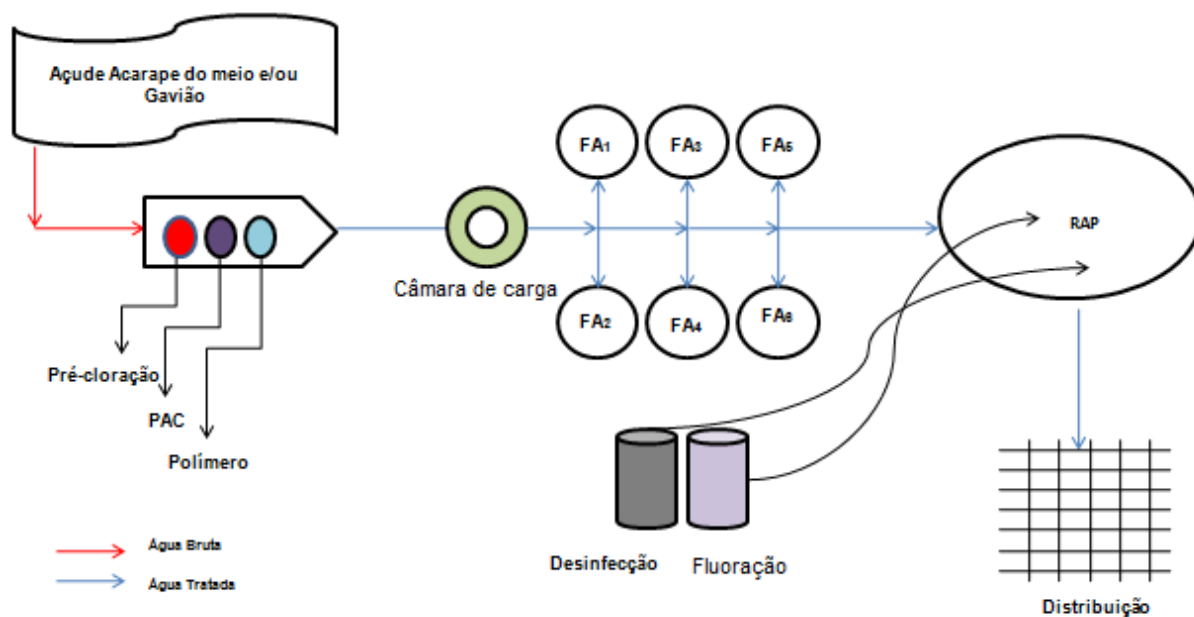
A ETA Maranguape (Figura 6) utiliza a tecnologia de filtração direta ascendente com capacidade máxima de tratamento de 130,56 L/s, e está localizada a 30 km da cidade de Fortaleza (CE), nas seguintes coordenadas geográficas 03° 53' 24" S e 38° 41' 09" O. Atualmente, a água bruta que chega na ETA é oriunda do Açude Gavião mas, dependendo da demanda e da qualidade da água, pode haver a captação de água bruta diretamente do Açude Acarape do Meio. A escolha do manancial de onde será realizada a captação de água bruta é realizada pela Cogerh (Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará).

A ETA abastece uma rede de distribuição, com extensão de 130.416 m, com um *per capita* médio de 152,02 L/hab.d e *per capita* de projeto de 150 L/hab.d. O sistema de distribuição possui 17.648 ligações ativas, capacidade de 565 m³/h e vazão média de 479,7 m³/h, além de um consumo atual de energia de 0,03 kWh/m³. O fluxograma geral do sistema de abastecimento de água de Maranguape é apresentado na Figura .

A ETA possui seis filtros de fibra de vidro (Figura 8) de fluxo ascendente, cada um com área de 12,6 m², taxa de filtração de projeto de 180 m³/m².d e vazão máxima de filtração de 94,5 m³/h, totalizando 567 m³/h estando os 6 filtros em operação. A velocidade de lavagem dos filtros é de 0,125 m/min.

Segundo acompanhamento *in loco*, informações dadas pelo operador e inspeção visual, a lavagem dos filtros ocorre a cada 24h, sempre às 4h da manhã. Como todos os filtros são lavados ao mesmo tempo, a lavagem é realizada pela madrugada, tendo em vista que a demanda de água da cidade neste horário ainda é muito baixa. A lavagem de cada filtro dura cerca de 15 minutos e a água de lavagem segue sem tratamento para o rio Maranguapinho.

A coagulação é realizada com Cloreto de Polialumínio (PAC 23%), o auxiliar de coagulação é um polímero catiônico líquido e a pré-cloração é realizada com hipoclorito de cálcio - Ca(ClO)₂, conforme pode ser observado na Figura 9. A desinfecção é realizada com o dicloroisocianurato de sódio - C₃ Cl₂ N₃ Na O₃ e, por fim, há adição de fluossilicato de sódio - Na₂SiF₆.



Legenda: FA – Filtro Ascendente; RAP – Reservatório Apoiado.

Figura 6: Fluxograma de funcionamento da ETA Maranguape.

As camadas do meio filtrante (Tabela 2) da ETA Maranguape estão dispostas da seguinte maneira:

Tabela 2: Camadas filtrante presente nos filtros da ETA Maranguape.

Camada	Meio filtrante	Tamanho da camada
1	areia 0,59 – 2,00 mm	160 cm
2	pedregulho 9,60 – 15,90 mm	20,0 cm
3	pedregulho 2,36 – 4,80 mm	15,0 cm
4	pedregulho 4,80 – 9,60 mm	7,5 cm
5	pedregulho 9,60 – 15,90 mm	7,5 cm
6	pedregulho 15,90 – 25,40 mm	7,5 cm
7	pedregulho 25,40 - 38,00 mm	20,0 cm

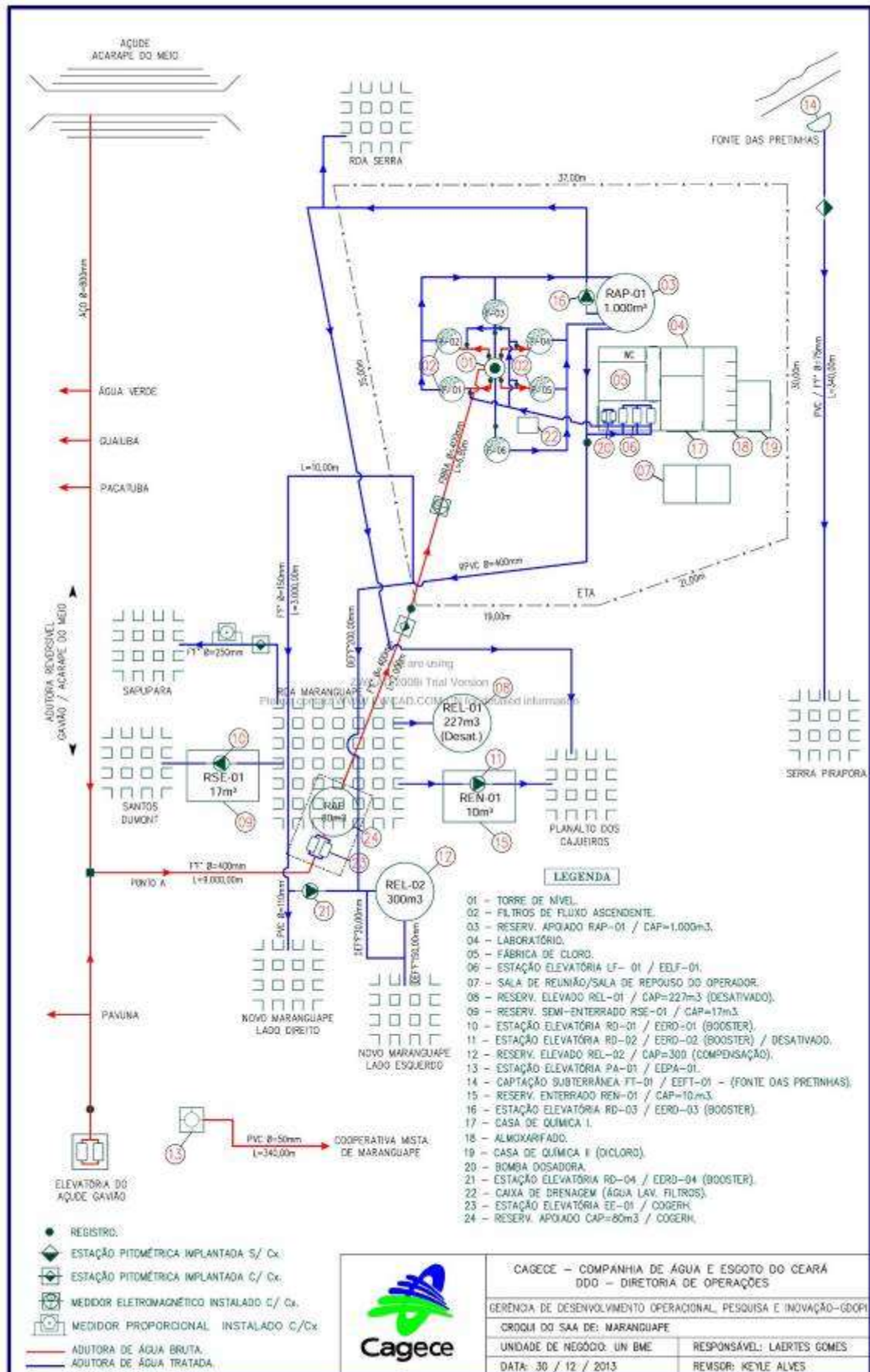


Figura 7: Croqui do Sistema de Abastecimento de Água de Maranguape.



Figura 8: Filtros e câmara de carga da ETA Maranguape.



Figura 9: Ponto no qual há dosagem de PAC 23%, polímero catiônico e hipoclorito de cálcio.

4.3 ETA Pacatuba

A ETA Pacatuba (Figura 10) está localizada à 32 km da cidade de Fortaleza (CE), nas coordenadas geográficas 03° 59' 02" S 38° 37' 12" O. Possui uma vazão máxima de 50 L/s, utiliza a tecnologia de filtração sob pressão. A água bruta é oriunda dos açudes Acarape do Meio ou Gavião.

A ETA possui seis filtros de aço (Figura 11) de fluxo descendente cada um com área 1,77 m² com taxa de filtração de projeto de 360 m³/m².d, resultando numa capacidade máxima de produção de 26,55 m³/h, totalizando 160 m³/h. Os filtros são lavados em contracorrente com uma velocidade de 0,25 m/min.

A coagulação (Figura 12) é realizada com Cloreto de Polialumínio (PAC 23%) e o auxiliar de coagulação é o polímero catiônico. A Pré-cloração e pós-cloração são realizadas com adição de hipoclorito de cálcio - Ca(ClO)₂ e, por fim, há adição de fluossilicato de sódio - Na₂SiF₆.

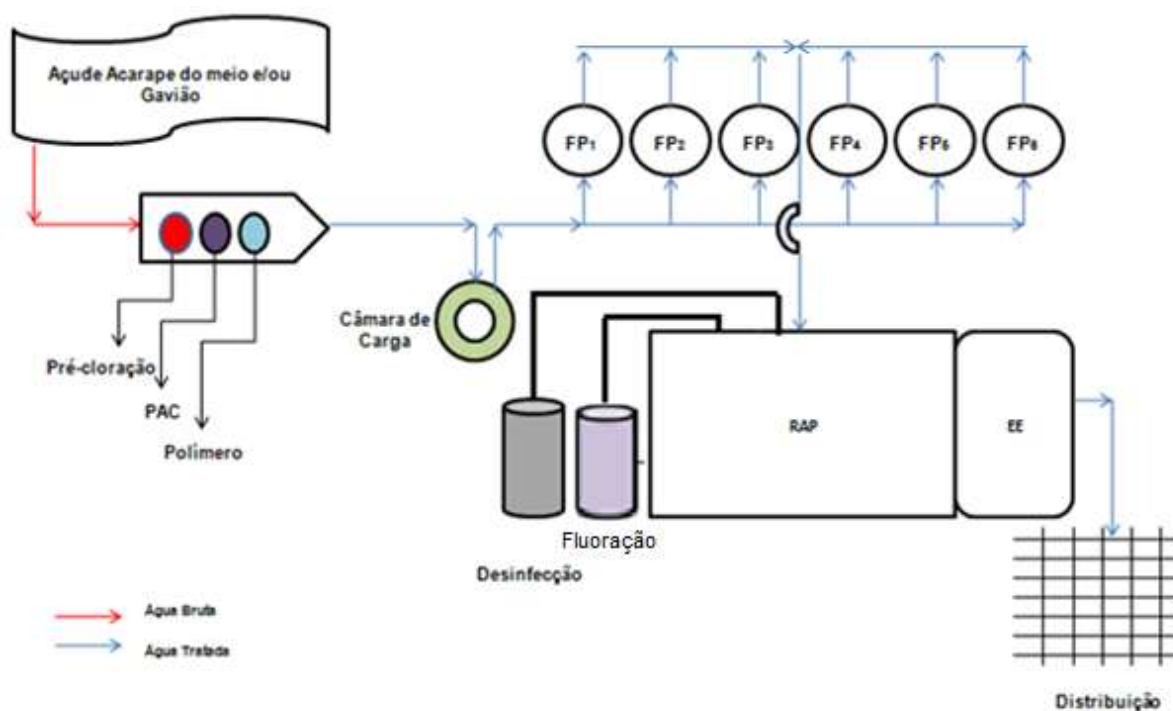


Figura 10: Fluxograma de funcionamento da ETA Pacatuba.



Figura 11: Filtros de pressão da ETA Pacatuba.



Figura 12: Vista do ponto de coagulação e pré-cloração da ETA Pacatuba.

Segundo acompanhamento *in loco*, informações dadas pelo operador e inspeção visual, a cada duas horas um filtro é lavado durante 4 a 5 minutos (Figura 13), sendo interrompida quando a água está visualmente clarificada. A água de

lavagem segue sem tratamento para o rio Pacoti à jusante da ETA Itaitinga (este rio é utilizado para a captação de água na ETA Itaitinga).



a) água oriunda do filtro no primeiro minuto de lavagem



b) água oriunda do filtro no segundo minuto de lavagem



c) água de lavagem do filtro ficando mais clarificada no terceiro minuto



d) água de lavagem do filtro totalmente límpida no quarto minuto

Figura 13: Sequência que representa a lavagem dos filtros.

O sistema de abastecimento tem uma rede de distribuição de água com extensão de 59.720 m com 5.116 ligações ativas (Figura 14). O *per capita* fornecido é de 229,63 L/hab.d enquanto que o *per capita* adotado no projeto foi de 150 L/hab.d. A ETA foi projetada com uma capacidade de 150 m³/h e atualmente produz uma média de 201,8 m³/h com um consumo médio de energia de 0,18 kWh/m³.

As camadas do meio filtrante (Tabela 3) da ETA Pacatuba estão dispostas da seguinte maneira:

Tabela 3: Camadas filtrante presente nos filtros da ETA Pacatuba.

Camada	Meio filtrante	Tamanho da camada
1	areia 0,59 – 1,68 mm	70,00 cm
2	pedregulho 2,00 – 3,36 mm	10,0 cm
3	pedregulho 3,36 – 6,40 mm	7,5 cm
4	pedregulho 6,40 – 12,70 mm	7,5 cm
5	pedregulho 12,70 – 19,00 mm	20,0 cm

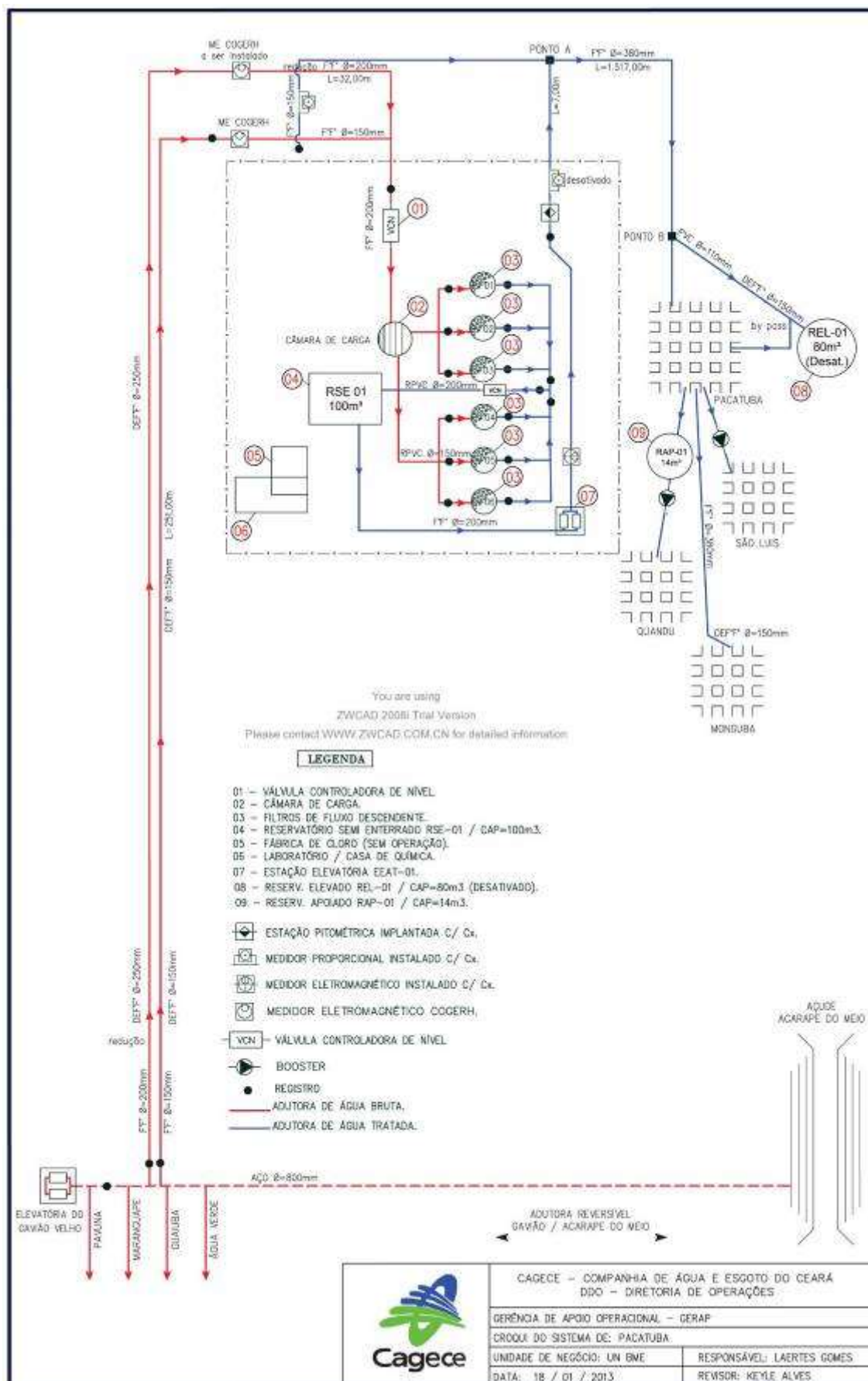


Figura 14: Croqui do Sistema de Abastecimento de Água de Pacatuba.

4.4 Procedimentos específicos

As coletas de amostras de água de lavagem de filtros foram realizadas em conformidade com o Procedimento Operacional Padrão 060 (anexo A). Uma vez por mês, um colaborador da CAGECE, com a função de coletor, se deslocava para cada uma das ETA e realizava a coleta de amostras compostas da água de lavagem dos filtros. As amostras eram coletadas, acondicionadas e preservadas *in loco* de modo adequado (conforme Tabelas 4 e 5) e encaminhadas para o laboratório central da CAGECE.

Todas as análises físico-químicas e microbiológicas coletadas na ETA Maranguape, ETA Pacatuba e ETA Itatitinga foram realizadas pelo laboratório da CACEGE o qual está inserido na GECCOQ (Gerência de Controle de Qualidade) da referida empresa.

A metodologia utilizada para coleta e acondicionamento está descrita no documento “anexo a”, que é o Procedimento Operacional Padrão (POP) 060, o qual é balizado pelo Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater, 22nd Edition (2012). Os dados quantitativos foram levantados através do Sistema de Controle Operacional (SCO) os quais estão descritos na Tabela 6.

A Tabela 4 apresenta os parâmetros físico-químicos bem como a metodologia utilizada na realização das análises enquanto que a Tabela 5 destaca os procedimentos para acondicionamento e preservação as amostras. Já a Tabela 6 apresenta os parâmetros quantitativos que foram avaliados.

Tabela 4: Parâmetros e metodologias utilizados no experimento.

Parâmetros qualitativos	Unidades	Metodologia das análises
pH	-	Potenciometria
Sólidos Sed.	mL /L	Cone Imhoff – Gravimetria
SST	mg /L	Gravimetria
D.Q.O.	mg O ₂ /L	Refluxo Aberto/ Titulometria
Temperatura	°C	Termométrico
Alumínio Total	mg Al /L	Espectrofotometria/ Eriocromocianina

Tabela 5: Acondicionamento e preservação das amostras

Variáveis	Frasco	Volume mínimo de amostra (ml)	Preservação	Tempo máximo para iniciar análise
pH	Polietileno, vidro borosilicato	100	Refrigerar até 4°C	15 minutos
Sólidos		1000	Refrigerar ≤ 4°C	7 dias
Sólidos sedimentáveis		1500	Refrigerar ≤ 4°C	7 dias
DQO		100	3 gotas de H ₂ SO ₄ até pH < 2 e refrigerar ≤ 6°C	28 dias
Temperatura		100	Análise imediata <i>in loco</i>	15 dias

Fonte: Adaptado do Procedimento Operacional Padrão - POP 060 de CAGECE (2012)

Tabela 6: Parâmetros quantitativos estimados

Parâmetros quantitativos	Unidades	Fonte de dados
Volume captado de água bruta	m ³	SCO – CAGECE
Volume de água tratada produzida	m ³	
Volume distribuído	m ³	
Volume de água de lavagem de filtro	m ³	
Volume de água de lavagem de filtro	%	
PAC 23%	Kg	
Polímero Catiônico	Kg	

4.5 Análise estatística dos dados

Para os resultados obtidos foram calculados os principais parâmetros da estatística descritiva, como estimativas da tendência central (média aritmética, média geométrica, mediana) e dispersão (desvio padrão), além de intervalo de variação (máximo e mínimo), análise de variância e teste de Tukey.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados e a discussão de dados obtidos na pesquisa. Serão expostos os dados de caracterização das águas de lavagem dos filtros das ETA estudadas, bem como dos parâmetros de água bruta e tratada e dos produtos utilizados para o tratamento da água durante o período de 2009 a 2014 (primeiro semestre).

Vale salientar que no presente trabalho foram verificados alguns dados considerados inconsistentes (espúrios). Isto ocorreu nos dados referentes ao ano de 2009 nos quais todas as variáveis das três ETA sofreram variações muito divergentes dos demais anos. Dito isto, resolveu-se não levar em consideração as análises destes dados de forma que não há uma justificativa que embase esse comportamento. Salienta-se que os dados serão apresentados, porém, não serão discutidos.

5.1 Variáveis quantitativas

No presente estudo foram levantados dados quantitativos das três ETA no que diz respeito ao volume de água captada, comercializada e utilizada para a lavagem dos filtros (Tabela 7) e as quantidades de produtos utilizados durante o tratamento da água (Tabela 8).

Tabela 7: Volumes de água medidos nas ETA em estudo durante o período de 2009-2014

ETA	Volumes (m ³)	2009	2010	2011	2012	2013	2014*	Total
Itaitinga	Bruto Captado	831028	893194	959990	992891	939095	524864	5141062
	Comercializado	768640	814626	880114	923016	812738	431828	4630963
	Lavagem dos Filtros	62388	78568	79876	69875	126357	93036	510099
Maranguape	Bruto Captado	3168648	3267074	3503298	3890691	4061546	2047343	19938600
	Comercializado	3010586	3075060	3194306	3521246	3728688	1854430	18384315
	Lavagem dos Filtros	165927	192015	308992	369445	332858	192913	1562150
Pacatuba	Bruto Captado	761217	931143	931201	1151382	1571756	857264	6203963
	Comercializado	744328	836700	894192	974656	1489175	816535	5755587
	Lavagem dos Filtros	16889	27044	32369	176726	82581	40729	376338

*** Primeiro semestre**

A Figura 15 apresenta os resultados totais referentes aos volumes de água medidos nas ETA. De acordo com o projetado, a ETA Maranguape, em termos de volume, é a que possui uma maior captação e produção de água tratada seguida pelas ETA Pacatuba e Itaitinga. Durante o período de avaliação, na ETA Maranguape foram captados 19.938.600 m³ de água bruta, sendo que deste, 1.562.150 m³ foram utilizados para a lavagem de filtros. Já a ETA Pacatuba teve um total de 6.203.963 m³ de água bruta captada e 376.338 m³ de água utilizada na lavagem dos filtros. Na ETA Itaitinga o volume de água captada foi de 5.141.062 m³ enquanto que o volume de água gasto para a lavagem de filtros foi de 510.099 m³.

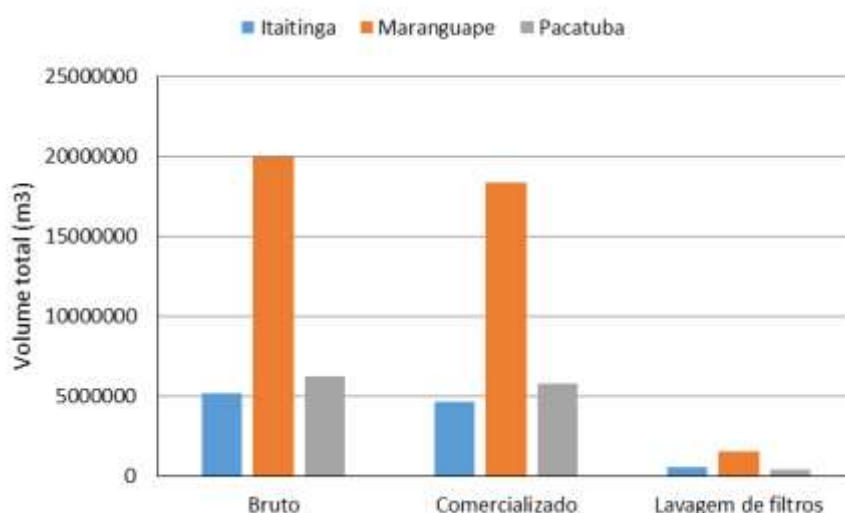


Figura 15: Volumes totais de água medidos nas ETA em estudo

A Figura 16 apresenta os resultados percentuais de consumo de água para a limpeza dos filtros nas ETA ao longo do período de avaliação. Os maiores consumos de água, em relação ao volume captado, ocorreram na ETA Itaitinga e variaram entre 7,0 a 17,7%, com média de 9,9%. Na ETA Maranguape o consumo médio foi cerca de 2% inferior ao verificado na ETA Itaitinga (7,8%) e a faixa de variação ao longo do período avaliado também foi menor (5,2 a 9,5%). A menor média de consumo foi medida na ETA Pacatuba (6,1%), no entanto, foi a ETA que apresentou a maior faixa de variação (2,2 a 15,3%) devido ao valor máximo verificado no ano de 2012, muito diferente dos observados nos demais anos. Tais resultados demonstram que o consumo de água nas lavagens dos filtros está bem mais elevado que as

faixas citadas pela literatura, como por Vigneswaran *et al.* (1996) que afirma que a água de lavagem de filtros representa cerca de 2% a 5% da água tratada numa ETA. De acordo com Richter (2001), por exemplo, a porcentagem de lodo removido depende de fatores como origem, técnica e método adotados para a sua remoção e, geralmente, se encontra na faixa de 0,2% a 5% do volume de água tratada.

Comparando as ETA de Itaitinga e Pacatuba, que apresentam capacidades de tratamento similares, em termos de volume, verifica-se que a segunda ETA, apesar de apresentar um volume cerca de 20% maior de água bruta captada, o volume de água para a lavagem dos filtros foi cerca de 27% menor que na primeira ETA. Tais resultados podem ser justificados pelo fato da água bruta afluyente a ETA Itaitinga apresentar as concentrações de cor e turbidez bem mais elevadas que as observadas na ETA Pacatuba (Tabela 9), tornando-a com o mais elevado percentual de consumo de água entre as ETA avaliadas, sendo, dessa forma, a menos eficiente.

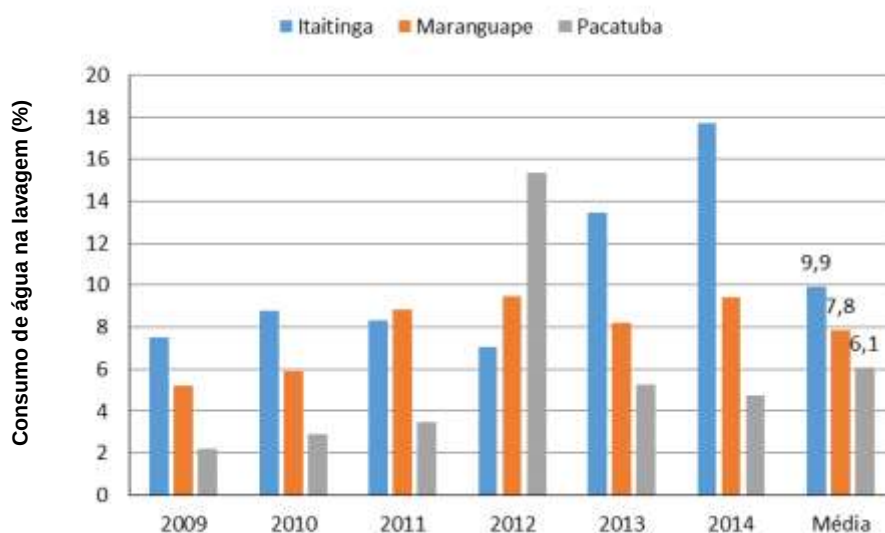


Figura 16: Consumo de água com lavagem de filtros nas ETA em estudo

As quantidades de produtos químicos utilizados para o tratamento da água foram proporcionais as capacidades de tratamento das ETA.

Na Figura 17 pode ser vista a estimativa das concentrações coagulante (PAC23%) e polímero catiônico em função dos quantitativos de massa dos produtos químicos (Tabela 8) e vazão de água bruta captada (Tabela 9). As menores doses

de coagulante foram observadas na ETA Maranguape, com variação entre 3,9 a 6,7 mg/L e média de 5,5 mg/L, enquanto que as mais elevadas ocorreram na ETA Pacatuba (média de 9,0 mg/L e faixa de variação de 4,0 a 12,6 mg/L). Esta última foi a única que apresentou tendência de crescimento na dose de coagulante entre os anos de 2009 a 2014. Em relação às concentrações de polímero, as médias foram de 1,3 mg/L na ETA Itaitinga, 1,7 mg/L na ETA Maranguape, e 1,8 mg/L na ETA Pacatuba. Destaca-se que na ETA Pacatuba, onde a água bruta apresentou as menores concentrações de cor e turbidez (Tabela 9), foi a ETA com as maiores dosagens de coagulante e polímero.

Testes de correlação foram realizados para verificar se as doses de coagulante e polímeros variaram em função das concentrações de pH, cor e turbidez da água bruta. No entanto, considerando os resultados agrupados das três ETA, foram verificadas correlações significativas apenas entre cor e turbidez ($r = 0,66$) e entre as doses de coagulante e polímero ($r = 0,57$). Estas mesmas correlações também foram significativas quando os dados foram analisados separadamente por ETA. Na ETA Pacatuba os coeficientes de correlação (r) foram de 0,83 (PAC 23% e polímero) e 0,97 (cor e turbidez). Na ETA Itaitinga somente a correlação de PAC 23% com polímero foi significativa ($r = 0,94$).

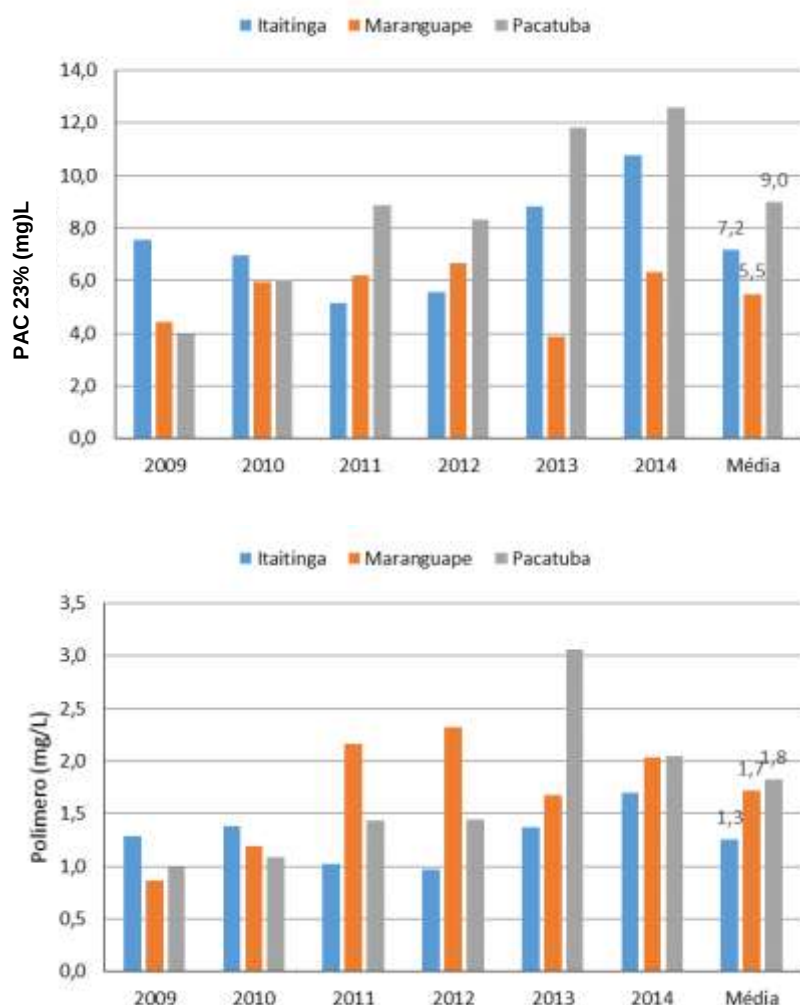


Figura 17: Variação das concentrações anuais de coagulante (PAC 23%) e polímero catiônico

Tabela 8: Quantitativos de produtos químicos utilizados para o tratamento da água durante o período de 2009-2014 nas ETA em estudo

ETA	Produtos (kg)	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Total
Itaitinga	Polímero Catiônico	1070	1235	985	958	1287	892	6427
	PAC 23%	6293	6217	4932	5537	8276	5661	36917
Maranguape	Polímero Catiônico	2732	3884	7592	9030	6819	4178	34235
	PAC 23%	13983	19369	21680	26021	15710	12959	109722
Pacatuba	Polímero Catiônico	756	1014	1337	1665	4812	1757	11341
	PAC 23%	3016	5620	8255	9568	18593	10784	55836

5.2 Variáveis Qualitativas

5.2.1 Água bruta e tratada

As médias da avaliação qualitativa da água bruta e tratada nas três ETA durante o período avaliado estão apresentadas na Tabela 9. A água bruta afluenta a ETA Itaitinga, captada do Rio Pacoti, foi a que apresentou maiores concentrações de pH (7,9), cor (40,7 UH) e turbidez (7,0 UNT). Através de análise de variância e do teste de Tukey foi demonstrada a existência de diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as médias de pH e turbidez, medidas na ETA Itaitinga com as observadas nas ETA Maranguape e Pacatuba, que captavam água de açudes, a montante da ETA Itaitinga. Em relação a cor, a média obtida na ETA Itaitinga foi significativamente diferente daquela obtida na ETA Pacatuba. Ao longo de todo o período avaliado a água tratada nas três ETA apresentaram concentrações de pH, cor e cloro residual dentro dos limites preconizados pela Portaria 2914/2011-MS, para água potável. Entretanto, algumas médias ultrapassaram o limite de turbidez.

Tabela 9: Médias da avaliação qualitativa da água bruta e tratada nas ETA em estudo durante o período de 2009-2014

ETA	Variáveis	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Média
Itaitinga	pH Bruta	7,5	7,5	8,2	7,9	7,9	8,2	7,9
	pH Final	7,2	7,3	8,1	7,4	7,3	7,5	7,5
	Cor Bruta (uC)	50,3	53,3	33,4	30,0	36,2	41,2	40,7
	Cor Final (uC)	5,2	6,3	2,5	2,5	2,5	2,5	3,6
	Turbidez Bruta (UNT)	8,4	9,4	7,9	5,6	5,1	5,3	7,0
	Turbidez Final (UNT)	0,9	1,9	1,2	1,1	0,7	0,8	1,1
	Cloro Residual (mg/L)	1,6	1,4	1,8	2,5	2,5	2,6	2,1
Maranguape	pH Bruta	7,5	7,4	7,1	7,2	7,5	7,8	7,4
	pH Final	7,6	7,5	7,3	7,3	7,6	7,7	7,5
	Cor Bruta (uC)	37,7	41,1	46,5	35,2	30,0	30,1	36,8
	Cor Final (uC)	4,9	5,7	6,6	5,8	5,0	5,0	5,5
	Turbidez Bruta (UNT)	2,3	2,7	3,0	2,7	2,8	2,4	2,6
	Turbidez Final (UNT)	0,5	0,6	0,6	0,8	0,9	0,3	0,6
	Cloro Residual (mg/L)	2,2	2,0	2,1	2,1	2,9	2,6	2,3
Pacatuba	pH Bruta	7,2	7,4	7,4	7,2	7,5	7,7	7,4
	pH Final	7,2	7,4	7,3	7,2	7,4	7,8	7,4
	Cor Bruta (uC)	25,2	26,6	36,0	30,0	24,2	21,9	27,3
	Cor Final (uC)	9,9	8,9	13,4	9,3	6,2	6,5	9,0
	Turbidez Bruta (UNT)	1,9	2,4	4,2	2,9	2,0	2,0	2,6
	Turbidez Final (UNT)	0,7	0,8	1,4	1,3	0,9	0,9	1,0
	Cloro Residual (mg/L)	0,8	0,9	0,8	0,7	1,8	2,7	1,3

5.2.2 Água de lavagem de filtros

As concentrações médias das variáveis avaliadas nas águas de lavagem dos filtros estão apresentadas na Tabela 10 enquanto a Tabela 11 apresenta um resumo das características físicas e operacionais das unidades de filtração.

Com exceção de pH, as maiores concentrações médias ocorreram na ETA Pacatuba e, provavelmente, estão associadas as características físicas e operacionais da unidade (tipo de tecnologia, taxa de filtração, carreira de filtração, tempo e volume de água de lavagem, doses de produtos químicos), visto que a água bruta afluenta foi a que apresentou melhor qualidade em relação as demais. A ETA Pacatuba foi ainda a que apresentou maior taxa de filtração, menor carreira de filtração e menor consumo de água para lavagem dos filtros. Em todas as ETA foram estimadas taxas de filtração médias inferiores às adotadas em projeto. Destaca-se que as taxas de filtração médias anuais em todas as ETA apresentaram tendência de aumento contínuo, e que em 2013 e 2014, na ETA Pacatuba, foram superiores (405 e 442 m³/m².d, respectivamente) as taxas de filtração adotadas no projeto (360 m³/m².d) (Figura 18).

Tabela 10: Caracterização média das águas de lavagem das ETA avaliadas

Variáveis	ETA		
	Itaitinga	Maranguape	Pacatuba
pH	7,38	7,51	7,32
Sólidos sedimentáveis (mL/L)	34	22	82
Sólidos suspensos totais (mg/L)	195	148	262
DQO (mg/L)	137	139	184
Alumínio (mg/L)	1,26	0,89	2,26

Tabela 11: Resumo das características físicas e operacionais das unidades de filtração

ETA	Quantidade x área de filtração (m ²)	Taxa de filtração de projeto (m ³ /m ² .d)	Taxa de filtração média* estimada (m ³ /m ² .d)	Carreira de filtração (horas)
Itaitinga	4 x 8 = 32	180	80	48
Maranguape	6 x 12,6 = 75,6	180	132	24
Pacatuba	6 x 1,77 = 10,6	360	303	12

* considerando o período de 2009-2014

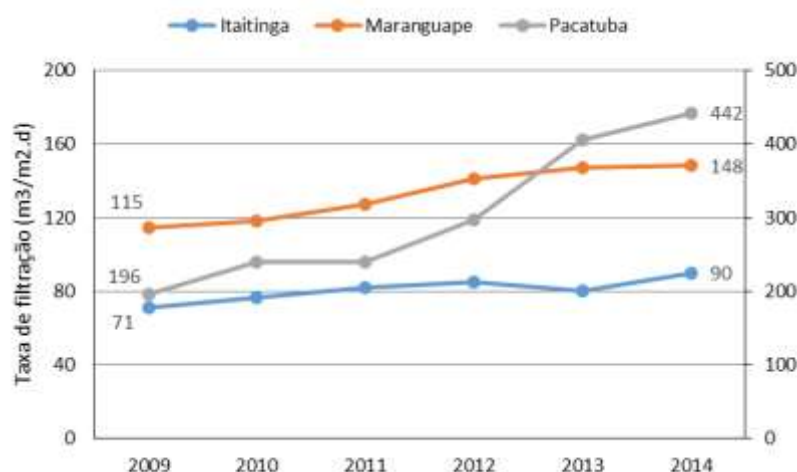


Figura 18: Variação das médias anuais das taxas de filtração

Comparando as concentrações obtidas, com aquelas preconizadas pela Portaria 154/2002 da SEMACE (Tabela 12), que trata dos padrões de lançamento de efluentes em corpos aquáticos no Estado do Ceará e pela Resolução CONAMA 430/2011, que trata de condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, pode-se observar que as médias de sólidos sedimentáveis e sólidos suspensos totais de todas as ETA estão muito acima do valor máximo permitido (VMP), indicando a necessidade de implantação de unidades para a redução dos teores de sólidos lançados no meio ambiente.

Tabela 12: Padrões de lançamento de efluentes segundo a legislação estadual (Portaria 154/2002, SEMACE, Artigo 4º)

Variáveis	VMP	Unidade
pH	5,0 - 9,0*	-
Sólidos Sedimentáveis	1	mL /L
Sólidos suspensos totais	50	mg /L
DQO	200	mg O ₂ /L
Alumínio Total	NE*	mg Al /L

*NE: Não especificado

Em termos de cargas efluentes (Tabela 13) pode ser observado que os maiores valores foram obtidos na ETA Maranguape, que apresentou vazão de água de lavagem bem superior as outras ETA.

Tabela 13: Estimativa das cargas diárias dos efluentes de lavagem dos filtros nas ETA avaliadas

Variáveis	ETA		
	Itaitinga	Maranguape	Pacatuba
Sólidos sedimentáveis (L/d)	8640	17120	15370
Sólidos suspensos totais (kg/d)	49,55	115,17	49,12
DQO (kg/d)	34,81	108,16	34,49
Alumínio (kg/d)	0,32	0,69	0,42

A Figura 19 destaca a variação das médias anuais das variáveis de qualidade monitoradas nas águas de lavagem dos filtros nas três ETA estudadas enquanto que a (Figura 20) apresenta o resumo estatístico (média, desvio padrão e faixa de variação). Assim como já destacado para as médias de todo o período avaliado, as maiores médias anuais foram verificadas na ETA Pacatuba, exceto no ano de 2011, para o alumínio. Pela figura também é possível ver a presença de resultados atípicos (espúrios) para o ano de 2009, nas ETA Itaitinga e Pacatuba. Independentemente do ano avaliado, as concentrações de sólidos sedimentáveis e sólidos suspensos totais sempre foram superiores aos respectivos padrões de lançamento. É importante destacar a tendência de aumento das médias de todas as variáveis nos anos de 2013 e 2014, na ETA Pacatuba, que coincide com o crescimento significativo das taxas de filtração.

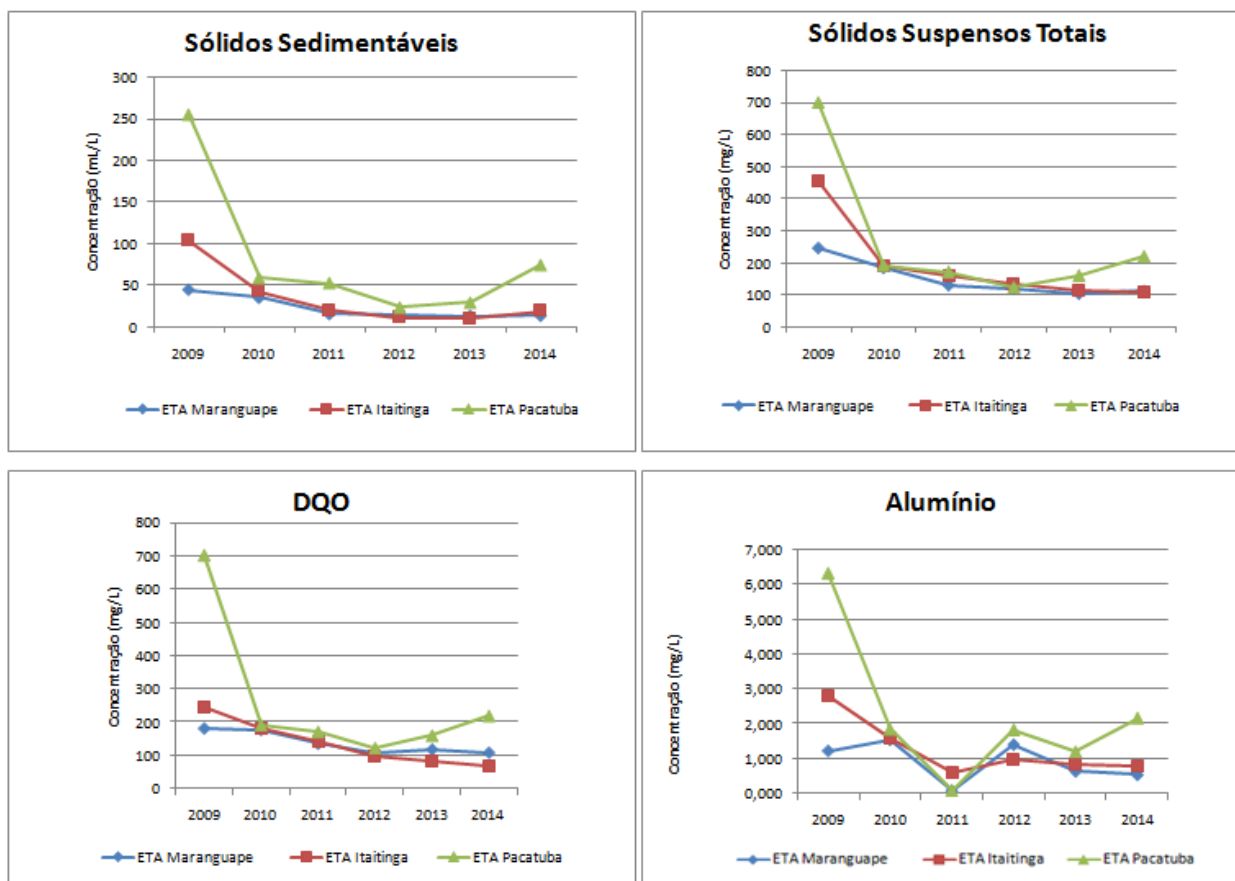


Figura 19: Médias anuais das variáveis nas águas de lavagem dos filtros nas ETA avaliadas

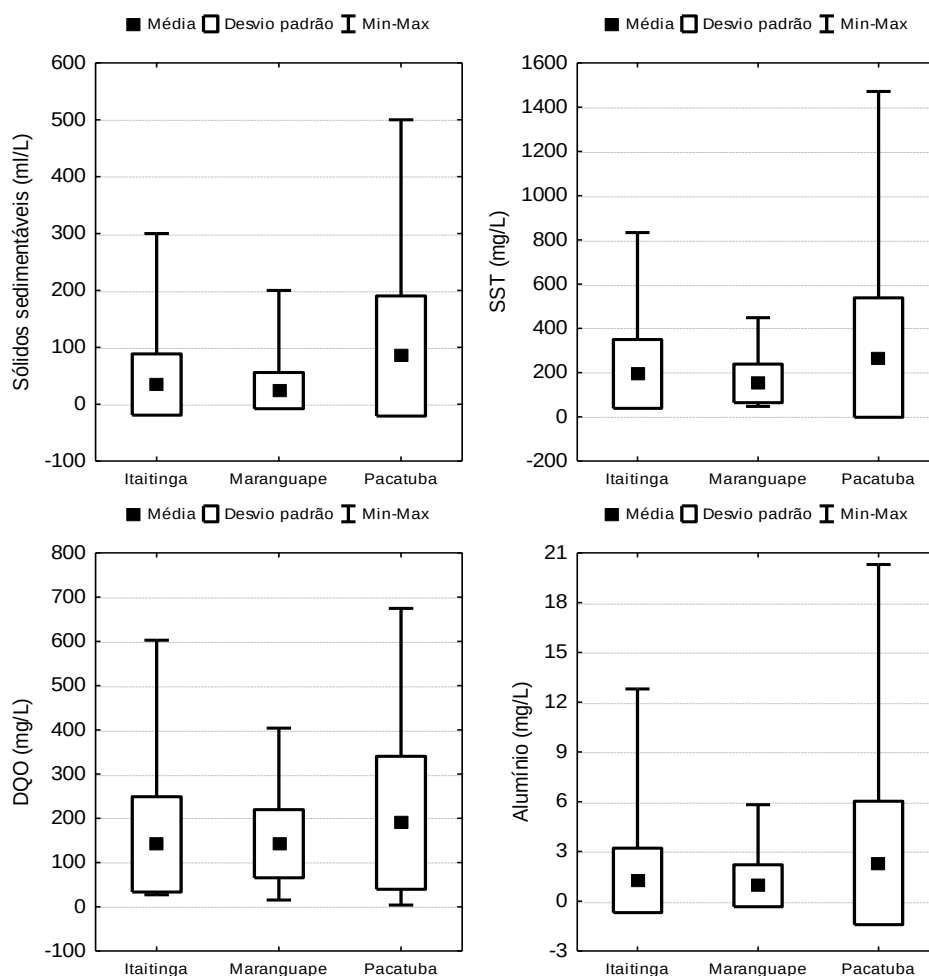


Figura 20: Médias, desvios padrões e faixas de variações de sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos totais (SST), DQO e alumínio durante o período de 2009-2014

A análise de correlação realizada em todo o banco de dados agrupado, independentemente do ano e ETA, demonstrou haver relações significativas entre os resultados de sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos totais, DQO e alumínio, conforme destacado na Tabela 14.

Tabela 14: Correlações significativas entre as variáveis monitoradas

	Média	Desvio padrão	Sólidos sedimentáveis (mg/L)	Sólidos suspensos totais (mg/L)	DQO (mg/L)	Alumínio (mg/L)
Sólidos sedimentáveis (mg/L)	47	79	1,00	0,93	0,86	0,71
Sólidos suspensos totais (mg/L)	205	200	0,93	1,00	0,90	0,73
DQO (mg/L)	157	122	0,86	0,90	1,00	0,59
Alumínio (mg/L)	1,55	2,75	0,71	0,73	0,59	1,00

Foram realizadas análises de variância, ao nível de 5%, para verificar a ocorrência de diferenças significativas entre as médias de sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos totais e DQO, nas águas de lavagem.

Primeiramente foram considerados os dados anuais de cada uma das ETA (Figura 21). Desconsiderando os dados espúrios de 2009, pode-se verificar que não há diferenças significativas entre os dados analisados.

Posteriormente os dados das três ETA foram agrupados por ano (Figura 22) e, novamente, ao desconsiderar os dados espúrios de 2009, tem-se que os dados são estatisticamente iguais.

Finalmente, os dados foram agrupados por ETA, independentemente do ano (Figura 23). Neste caso, a análise de variância demonstrou, para as três variáveis, a ocorrência de diferenças significativas entre a ETA Pacatuba e as demais, indicando novamente que nesta ETA a água de lavagem é bem mais concentrada.

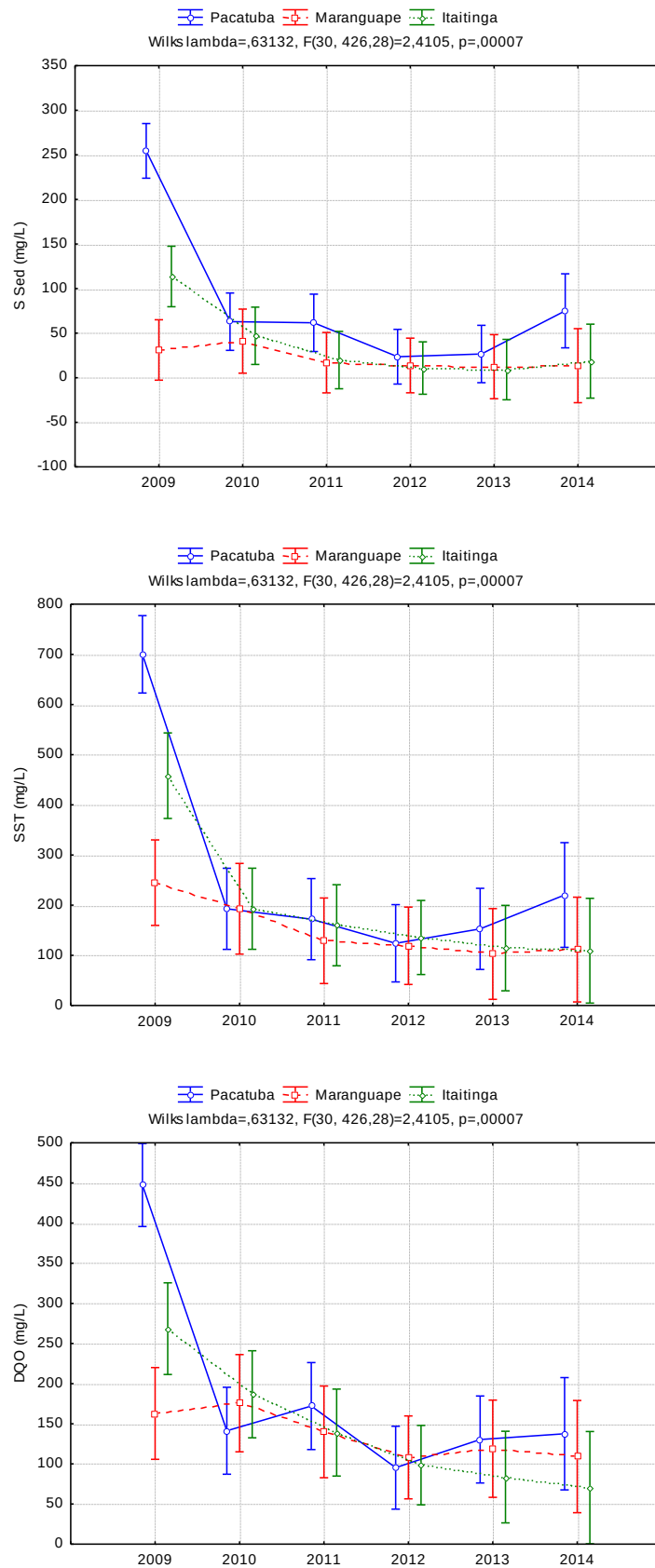


Figura 21: Comparação entre as médias anuais de sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos totais e DQO nas ETA avaliadas (barras que não fazem intercessão denotam diferença entre as médias ao nível de 5%)

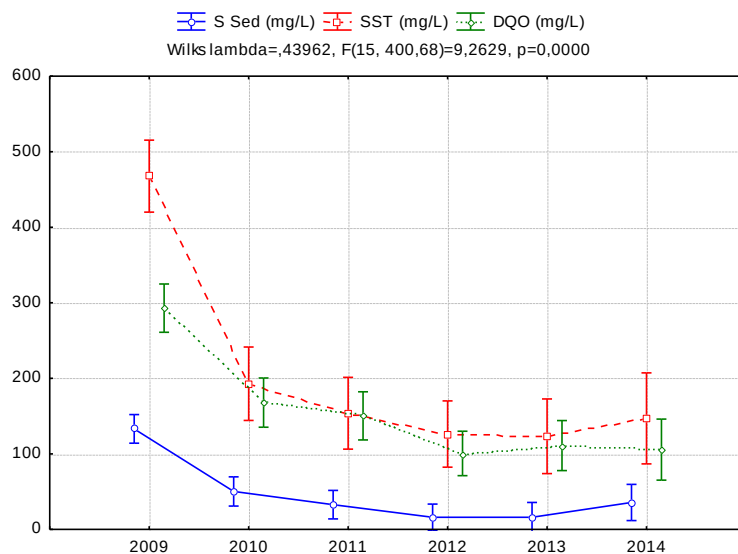


Figura 22: Comparação entre as médias de sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos totais e DQO para os dados agrupados anualmente (barras que não fazem intercessão denotam diferença entre as médias ao nível de 5%)

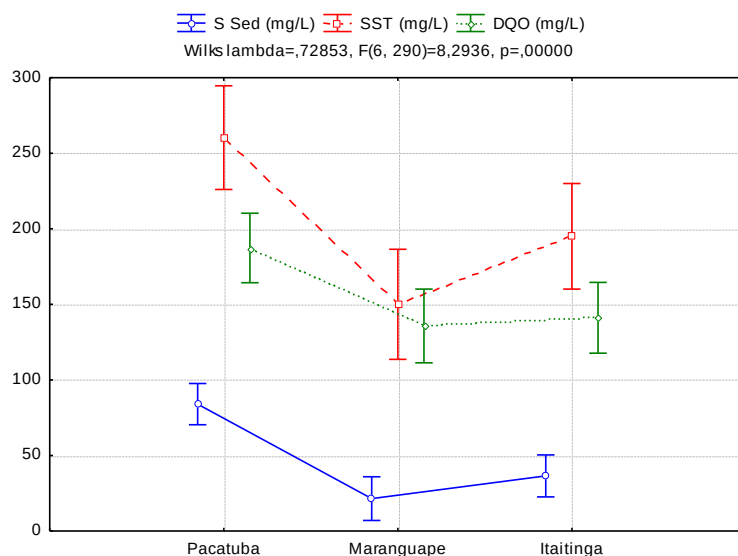


Figura 23: Comparação entre as médias de sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos totais e DQO para os dados agrupados por ETA (barras que não fazem intercessão denotam diferença entre as médias ao nível de 5%)

5.3 Discussão

Diante do que foi visto, verificou-se que as ETA estudadas lançam os resíduos oriundos da água de lavagem de filtros de forma incorreta, com parâmetros fora do padrão preconizado pela legislação e sem nenhum tipo de tratamento, podendo, portanto, comprometer o corpo receptor, que é, inclusive, manancial do

qual uma das ETA capta água bruta. Dito isto, deve-se realizar a implantação de tecnologias de tratamento para as águas de lavagem dos filtros de cada ETA visando minimizar o impacto ambiental gerado. É imprescindível que a tecnologia escolhida possa ser adequada a realidade da ETA. Portanto, no presente trabalho sugere-se uma forma de tratamento e uma de aproveitamento de água de lavagem de filtros que são as mais adequadas em estações similares às estudadas, são tecnologias já utilizadas em estações de escala real: lagoas de sedimentação de lodo e recirculação.

Um exemplo, em escala real, de uma tecnologia simples de tratamento de lodo foi utilizada na ETA Extremoz (localizada na região metropolitana de Natal, estado do Rio Grande do Norte). Nesta ETA, a água de lavagem de filtros (bem como o efluente oriundo da descarga do decantador, já que a ETA é de Ciclo Completo) são tratados através de lagoas de sedimentação de lodo (Figura 24).

Na lagoa de sedimentação de lodo o desaguamento ocorre em três fases: drenagem, evaporação e transpiração. A técnica pode ser uma alternativa atraente, especialmente em regiões onde a taxa de evaporação é maior que a de precipitação, para que não resulte efluente líquido, até que o lodo seja retirado; entretanto, essa técnica está sendo adotada em muitas ETA da região sudeste e sul do Brasil, onde o índice pluviométrico é relativamente elevado durante a estação chuvosa. Nesse caso, o efluente da lagoa deve ser coletado e conduzido para um tanque de água recuperada. O emprego das lagoas elimina o uso de tanques de recepção e de unidades de clarificação e adensamento do lodo. A técnica é viável em ETA de pequena capacidade que dispõem de área junto à estação. Porém, algumas instalações de grande porte, especialmente na região nordeste do Brasil, possuem esse tipo de desaguamento. No projeto, tanto o fundo da lagoa quanto os taludes devem ser revestidos (com pintura asfáltica ou argamassa ou camada de argila ou manta geotêxtil, entre outras) para evitar infiltração e consequente contaminação do subsolo. O projeto de lagoas também inclui: sistema de tubulações de entrada de lodo e saída do clarificado, sistema de bombeamento (se necessário) e equipamentos de remoção de resíduo. Os taludes devem ser construídos de modo que permitam a entrada de um trator com caçamba para remoção de sólidos secos. As dimensões da lagoa (em planta) dependem da quantidade de lodo afluente ao sistema. No projeto, é recomendado que a relação comprimento/largura seja maior

que 5 e que a lâmina líquida máxima seja de 2m; entretanto, existem lagoas com profundidade de até 4m (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008).



Figura 24: Lagoa de sedimentação de lodo da ETA Extremoz (Natal/RN).

Uma das formas de reaproveitamento da água de lavagem de filtros é a recirculação desta na própria ETA. Segundo Richter (2001) esta recirculação é uma alternativa técnica e economicamente viável tendo em vista que a água de lavagem dos filtros possui baixa concentração de sólidos (0,004 a 0,1%). O processo de recirculação possibilita lançar a água ao início do sistema sem maiores alterações na qualidade da água bruta e, ainda, trazer benefícios como redução do consumo de coagulantes, aumento de vazão de produção, minimização dos impactos da exploração do manancial de captação e redução no consumo de energia, em alguns casos (Cheng Ng, 2012). Alguns autores como Di Bernado e Sabogal Paz (2008) indicam que em caso de recirculação de água de lavagem de filtros e, ETA, deve haver o monitoramento deste processo tendo em vista os riscos concernentes à presença de cistos e oocistos de *Giardia sp* e *Cryptosporidium sp*, e metais pesados como manganês, zinco, cobre, cádmio, chumbo, cromo, alumínio, possivelmente oriundos dos coagulantes e polímeros dosados no processo de tratamento.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Durante o período de estudo a água tratada nas três ETA apresentaram concentrações de pH, cor e cloro residual dentro dos limites preconizados pela Portaria 2914/2011-MS, para água potável. Destaca-se que, a turbidez, em alguns casos ultrapassou o valor máximo permitido de 0,5 UNT.

Na ETA Maranguape foram verificadas as menores doses de coagulante (com média de 5,5 mg/L), enquanto as doses mais elevadas ocorreram na ETA Pacatuba (média de 9,0 mg/L). Esta foi a única ETA que apresentou uma tendência de crescimento na dose de coagulante entre os anos de 2009 a 2014.

Ao levar em consideração o consumo de água na lavagem dos filtros, pode-se concluir que o maior consumo de água em relação ao volume tratado ocorreu na ETA Itaitinga (9,9%) e o menor consumo médio foi medido na ETA Pacatuba (6,1%).

As águas de lavagem dos filtros apresentaram concentrações de sólidos sedimentáveis e sólidos suspensos totais sempre superiores aos respectivos padrões de lançamento indicando, portanto, a necessidade de implantação de unidades para a redução dos teores de sólidos lançados no meio ambiente. No que diz respeito às cargas efluentes foi observado que os maiores valores foram obtidos na ETA Maranguape, que apresentou vazão de água de lavagem bem superior às outras ETA.

7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ARORA, H., DI GIOVANNI, G., LECHEVALLIER, M. Spent filtersand backwash water contamin an treatment strategies. *Journal AWWA (American Water Works Association)*, 93 (5), (2001), 100–111.

American Water Works Association. Water Treatment Plant Residual Management, Water Quality & Treatment, a Handbook of Community Water Supply. McGraw-Hill, New York. 16.1-16.51.1999

BARROSO, M. M. Influência das micro e macro propriedades dos lodos de estações de tratamento de águas no desaguamento por leito de drenagem. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

BOURGEOIS, J.C., WALSH, M.E., GAGNON, G.A. Comparison of process options for treatment of water treatment residual streams. *Journal of Environmental Engineering and Science*,3(6), (2004), 408–416.

BRASIL. Resolução Nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Brasília, 2011.

BRASIL. Lei Nº 9605/1998, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914/2011, de 12 de dezembro de 2011. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília, 2011.

BRUGGER, A. Reuse of filter backwash: water using ultrafiltration technology. *Filtration and Separation*. January/February, 2000.

CAMPOS, M. C. D. Influência da recirculação de água de lavagem de filtros na qualidade da água para consumo humano. 2014. Dissertação (Mestrado em Saneamento e Ambiente) -. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.

CEARÁ, SEMACE. Portaria Nº 154/2002, de 22 de julho de 2002. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes poluidores líquidos gerados por fontes poluidoras. Ceará, 2002.

CHAVES, K.O. Desenvolvimento e aplicação de sistema de floco-flotação por ar dissolvido para tratamento da água de lavagem do filtro da ETA Gavião. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Ambiental) - Universidade Federal Ceará, Fortaleza.

CHENG NG, M. Implantação e avaliação da recirculação de resíduos líquidos gerados na ETA Extremoz. 2012. TCC (Curso superior de Tecnologia em Gestão Ambiental) – Diretoria de Recursos Naturais, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal.

CORNWELL, D.A., MACPHEE, M.J. Effects of spent filter backwash recycle on cryptosporidium removal. *Journal AWWA (American Water Works Association)*, 93 (4), (2001), 153–162.

DHARMAPPA, H.B., HASIA, A., HAGARE, P. Water treatment plant residuals management. *Water Science and Technology*, 35 (8), (1997), 45-56.

DI BERNADO, L.; PAZ, L. P. S. Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água. São Carlos/SP: Ed. LdiBe, 2008.

EDZWALD, J.K., TOBIASON, J.E., KELLEY, M.B., DUNN, H.J., GALANT, P.B., KAMINSKI, G.S. Impacts of Filter Backwash Recycle on Clarification and Filtration. *American Water Works Research Foundation (AWWARF)*, Denver, CO, (2001).

EDZWALD, J.K., TOBIASON, J.E., UDDEN, C.T., KAMINSKI, G.S., DUNN, H.J., GALANT, P.B., KELLEY, M.B. Evaluation of the effect of recycle of waste filter backwash water on plant removals of *Cryptosporidium*. *Journal Water SRT–Aqua*, 52 (2003) 243–258.

FREITAS, A. G. de. Recirculação de água de lavagem de filtros em escala piloto: uma contribuição para avaliação de perigos associados à presença de protozoários. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) -. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

FREITAS, A. G. de, BASTOS, R. K. X, BEVILACQUA, P. D, PÁDUA, V. L., PIMENTA, J. F. P, ANDRADE, R. C de. Recirculação de água de lavagem de filtros e perigos associados a protozoários. *Eng. Sanit. Ambient.* V. 15 n. 1 jan/mar 2010 37-46

GOTTFRIED, A., SHEPARD, A.D., HARDIMAN, K., WALSH, M.E. Impact of recycling filter backwash water on organic removal in coagulation–sedimentation processes. *Water Research*, 42 (2008), 4683–4691.

GUAN, X., CHEN, G., SHANG, C. Re-use of water treatment works sludge to enhance particulate pollutant removal from sewage. *Water Research*, 39 (2005), 3433–3440.

HAARHOFF, J., HEERDEN, P., WALT, M. Sludge and washwater management strategies for the Vaalkop water treatment plant. *Water Science and Technology*, 44 (6), (2001), 73–80.

LIMA, J. A. Caracterização do efluente descartável da ETA Gavião e avaliação da eficiência do seu tratamento natural: Wetland. 2009. Monografia (Especialização *lato sensu* em Gestão Ambiental Urbana) -. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza.

MCCORMICK, N.J., PORTER, M., WALSH, M.E. Disinfection by-products in filter backwash water: Implications to water quality in recycle designs. *Water Research*, 44 (2010), 4581 - 4589.

PEREIRA, I. L. S. Caracterização do efluente de lavagem dos filtros da Estação de Tratamento de Água da lagoa do Jiqui/RN. 2014. TCC (Especialização em Gestão Ambiental) – Diretoria de Recursos Naturais, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal.

RAJ, C.B.C., KWONG, T.E., CHENG, W.W., FONG, L.M., TIONG, S.H., KLOSE1, P.S. Wash water in waterworks: contaminants and process options for reclamation. *Journal of Environmental Sciences*, 20(2008), 1300–1305.

RAZALI, M., ZHAO, Y.Q., BRUEN, M. Effectiveness of a drinking-water treatment sludge in removing different phosphorus species from aqueous solution. *Separation and Purification Technology*, 55 (2007) 300–306.

REISSMANN, F.G., SCHULZE, E., ALBRECHT, V. Application of a combined UF/RO system for the reuse of filter backwash water from treated swimming pool water. *Desalination*, 178 (2005) 41-49.

REISSMANN, F.G., UHLB, W. Ultrafiltration for the reuse of spent filter backwash water from drinking water treatment. *Desalination*, 198 (2006), 225–235.

RICHTER, C. A. Tratamento de lodos de estações de tratamento de água. São Paulo/SP. Ed. Edgar Blucher Ltda. 2001.

SCALIZE, P. S. Disposição de resíduos gerados em estações de tratamento de água em estações de tratamento de esgoto. 2003. Tese (Doutorado em engenharia ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo;

SOTERO-SANTOS, A.R.B., ROCHA, O., POVINELLI, J. Evaluation of water treatment sludges toxicity using the *Daphnia* bioassay. *Water Research*, 39 (2005), 3909–3917.

SOUZA, L. M. de. Estudo da aplicação do resíduo de decantador de ETA como auxiliar de floculação no tratamento de água. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

TOBIASON, J.E., EDZWALD, J.K., GILANI, V., KAMINSKI, G.S., DUNN, H.J., GALANT, P.B. Effects of waste filter backwash recycle operation on clarification and filtration. *Journal Water SRT–Aqua*, 52(2003) 259–275.

VIGNESWARAN,S., BOONTHANONB, S., PRASANTHIA, H. Filter backwash water recycling using crossflow microfiltration. *Desalination*, 106 (1996), 31-38.

WEIYING, L., YUASA, A., BINGZHI, D., HUIPING, D., NAIYUN, G.Study on backwash wastewater from rapid sand-filter by monolith ceramic membrane. *Desalination*, 250 (2010), 712–715.

WILLEMSE, J.N., BREKVOORT, Y. Full-scale recycling of backwash water from sand filters using dead-end membrane filtration. *Water Research*, 33 (15), (1999), 3379-3385.

XU, G.R., YAN, Z.C., WANG, Y.C., WANG, N. Recycle of Alum recovered from water treatment sludge in chemically enhanced primary treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 161 (2009), 663–669.

ANEXO A

Procedimento Operacional Padrão (POP 060) de Coleta de Amostras de Águas na
CAGECE.

Título: Procedimento de Coleta de Amostra das Águas de Lavagem de Filtro	Código	Revisão	Página
	POPCDQ 060	02	1/4

1. Objetivo

1.1 Descrever o procedimento para a coleta de amostra das águas de lavagem de filtro.

2. Campo de aplicação

2.1 Estações de Tratamento de Água das Unidades de Negócio da CAGECE.

3. Conceitos

3.1 Não aplicável.

4. Características gerais

4.1 Referências:

4.1.1 Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 22st Edition, 2012;

5. Procedimentos**5.1. Material**

5.1.2 Frasco de coleta de 5000mL;

5.1.3 Frasco de vidro de 300mL (frasco DBO);

5.1.4 Frasco de 100mL;

5.1.5 Frasco de 1000mL;

5.1.6 Frasco bacteriológico;

5.1.7 Ficha de coleta;

5.1.8 Gelo ou gelox;

5.1.9 Isopor;

5.1.10 Papel toalha;

5.1.11 Cronômetro;

5.1.12 EPI's necessários:

5.1.13 Luvas;

5.1.14 Sapato fechado.

Nota 1: Outros materiais de acordo com a tabela de acondicionamento ver tabela 1.

5.2. Reagentes e soluções

5.2.1 De acordo com a tabela de acondicionamento tabela 1.

Título: Procedimento de Coleta de Amostra das Águas de Lavagem de Filtro	Código	Revisão	Página
	POPCDQ 060	02	2/4

5.3. Execução

Nota 2: O coletor deve se equipar do EPI necessário para a realização do procedimento.

5.3.1 Determinar o tempo médio de lavagem dos filtros, iniciando-se a contagem a partir do momento que começar a saída da água de lavagem;

5.3.2. Dividir o tempo médio de lavagem encontrado por 3, este será o tempo T;

5.3.3 Coletar na saída da água de lavagem, aproximadamente um volume de 1,5L a cada intervalo de tempo determinado do item 3.3.2 (tempo T);

Nota 3: Exemplificando o procedimento descrito acima:

α) Tempo médio de lavagem encontrado= 15 minutos;

β) Intervalo de tempo para coleta = $15/3 = 5$ minutos;

χ) Coletar uma amostra de um litro e meio a cada 5 minutos de lavagem;

5.3.4 Juntar as 03 amostras de 1,5 L coletadas em um único frasco de 5L, e após homogeneizar retirar as seguintes alíquotas em frascos separados, realizando as preservações conforme a tabela 1:

5.3.4.1 100mL de amostra para análise de DQO;

5.3.4.2 1000mL de amostra para análise de amônia;

5.3.4.3 300mL de amostra para análise de sulfeto;

5.3.4.4 100mL de amostra para análise bacteriológica.

5.3.5 Encaminhar para análise no laboratório central de acordo com os cronogramas de envio de amostras.

6. Registros

6.1 Os registros gerados neste procedimento são mantidos e tratados conforme o PG 02 Controle de Registros.

7. Anexo

7.1 Ficha de Coleta de Águas Residuárias;

<http://cliquecagece.int.cagece.com.br/documentos/formularios/qualidade/Laboratorios/ficha-de-coleta/>

7.2 Tabela 1 - Acondicionamento e preservação

Título: Procedimento de Coleta de Amostra das Águas de Lavagem de Filtro	Código	Revisão	Página
	POPCDQ 060	02	3/4

ELABORADO POR	DATA:
Antônio Ribeiro Alves Júnior, Raquel dos Santos Almeida	15/05/2009
APROVADO POR	DATA:
Neuma Buarque	15/05/2009
HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES	
Revisado por: Antônio Ribeiro Alves Júnior	Data:
Alteração: Verificado conforme solicita o PG01. Sem necessidade de alteração.	29/04/2011
Revisado por: Antônio Ribeiro	Data:
Alteração: Itens 3, 4 e anexo.	30/11/2012

Título: Procedimento de Coleta de Amostra das Águas de Lavagem de Filtro	Código	Revisão	Página
	POPCDQ 060	02	4/4

ANEXO
Tabela 1 - Acondicionamento e preservação

Parâmetro	Frasco	Volume mínimo de amostra (mL)	Preservação	Tempo Máximo Recomendado de Análise
pH	Polietileno, Vidro Borosilicato	100	Refrigerar até 4°C	15min.*
Nitrogênio amoniacal, orgânico, Kjeldahl	Polietileno, Vidro Borosilicato	500	10 gotas de H ₂ SO ₄ até pH < 2 e refrigerar ≤ 6°C	28 dias
DQO	Polietileno, Vidro Borosilicato	100	3 gotas de H ₂ SO ₄ até pH < 2 e refrigerar ≤ 6°C	28 dias
Sólidos	Polietileno, Vidro Borosilicato	1000	Refrigerar ≤ 4°C	7 dias
Sólidos Sedimentáveis	Polietileno, Vidro Borosilicato	1500	Refrigerar ≤ 4°C	7 dias
Sulfeto	Frasco de DBO	300 *	Adicionar 12 gotas de Acetato de Zinco 2N para cada 300 mL da capacidade do frasco de coleta e 6 gotas de NaOH 6N para o mesmo volume da amostra. Coletar a amostra, em seguida, adicionar 6 gotas de NaOH para ajustar o pH > 9. Manter sob refrigeração ≤ 6°C.	28 dias
Metais em geral ##	Polietileno, Vidro Borosilicato	1000	Para metais dissolvidos, filtrar imediatamente, adicionar HNO ₃ até pH < 2	6 meses
Temperatura	Polietileno, Vidro Borosilicato	100	Análise imediata	15 minutos
Sulfato	Polietileno, Vidro Borosilicato	250	Manter sob refrigeração ≤ 6°C	28 dias
Bacteriológico	Polietileno, Vidro Borosilicato	100	Manter sob refrigeração ≤ 6°C	30 horas

* Caso não seja possível a análise imediata, refrigerar a amostra até 4°C até o momento da leitura (SMWW 1060C item 2)

* Amostra com baixa concentração de sulfeto - é recomendado coletar 500 a 1000 mL, com proporcionalidade dos reagentes.

** Os frascos de coleta devem ser lavados em banho ácido de HNO₃ 1:1 e enxaguar várias vezes com água ultrapura.

ANEXO B

Planilhas de dados quantitativos e qualitativos das ETA estudadas.

PLANILHA DE DADOS QUANTITATIVOS								
ETA	Produtos	2009	2010	2011	2012	2013	2014.1	Total
Itaitinga	Hipoclorito de cálcio (kg)	665	931	5233	1691			8520
	Cloro Gasoso (kg)	10727,49	14120,99	10044,89	9512,09	11590,98	5519,89	61516,33
	Polímero Catiônico (kg)	1070,30	1234,90	985,20	957,6	1287,1	891,8	6426,90
	PAC 23 (kg)	6293,49	6217,29	4931,79	5537,29	8276,18	5660,78	36916,82
	Fluorssilicato de Sódio (kg)				504		54,6	558,6
	Volumes	2009	2010	2011	2012	2013	2014.2	Total
	Volume Bruto Captado (m3)	831028	893194	959990,00	992891	939095	524864	5141062
	Volume Comercializado (m3)	768640	814626	880114,00	923015,8	812738,3	431828	4630962,5
	Volume de Água de Lavagem dos Filtros (m3)	62388	78568	79876,00	69875,2	126356,7	93035,6	510099,46
	Análises	2009	2010	2011	2012	2013	2014.2	Média
	pH Bruta (UH)	7,45	7,54	8,24	7,85	7,94	8,19	7,87
	pH Final (UH)	7,24	7,33	8,09	7,44	7,34	7,51	7,49
	Cor Bruta (UC)	50,26	53,34	33,41	30	36,19	41,21	40,74
	Cor Final (UC)	5,17	6,26	2,50	2,5	2,5	2,52	3,58
	Turbidez Bruta (UT)	8,36	9,39	7,93	5,61	5,13	5,30	6,95
	Turbidez Final (UT)	0,88	1,87	1,22	1,09	0,67	0,76	1,08
	Cloro Residual Distribuído (mg/L)	1,62	1,38	1,75	2,48	2,51	2,61	2,06

ETA	Produtos	2009	2010	2011	2012	2013	2014.1	Total
Maranguape	Hipoclorito de cálcio (kg)	80	4891,2	19415,50	16285	13770,90		54442,6
	Fluorssilicato de Sódio (kg)	1950	1550	2050	1900	1000	168	8618
	Cloreto de Sódio (kg)	105325	103005	121050	95350	41650		466380
	Polímero Catiônico (kg)	2732,3	3883,97	7591,8	9030	6819	4177,75	34234,82
	PAC 23 (kg)	13983	19369	21680	26021	15710	12958,50	109721,5
	Cloro Ativo (kg)	27874,66	22002,01	19088,06	27619,28	8810,90		105394,91
	Hidróxido de Sódio		125	200	25	50	400	800
	Dicloroisocianurato de Sódio				7983	25550	31272	64805
	Volumes	2009	2010	2011	2012	2013	2014.2	Total
	Volume Bruto Captado (m3)	3168648	3267074	3503298,00	3890691	4061546	2047343	19938600
	Volume Comercializado (m3)	3010586	3075060	3194305,91	3521246	3728688	1854430	18384316
	Volume de Água de Lavagem dos Filtros (m3)	165927	192014,5	308992,09	369444,9	332858	192913	1562149,7
	Análises	2009	2010	2011	2012	2013	2014.1	Média
	pH Bruta (UH)	7,53	7,38	7,14	7,16	7,51	7,79	7,42
	pH Final (UH)	7,64	7,47	7,28	7,31	7,58	7,72	7,50
	Cor Bruta (UC)	37,73	41,11	46,53	35,15	29,98	30,07	36,76
	Cor Final (UC)	4,86	5,73	6,64	5,75	5,04	5,01	5,51
	Turbidez Bruta (UT)	2,29	2,73	3,03	2,70	2,76	2,35	2,64
	Turbidez Final (UT)	0,50	0,56	0,64	0,78	0,87	0,34	0,62
	Cloro Residual Distribuído (mg/L)	2,15	2,00	2,09	2,06	2,92	2,62	2,31

ETA	Produtos	2009	2010	2011	2012	2013	2014.1	Total
Pacatuba	Hipoclorito de cálcio (kg)	11411,19	15560,59	17114,49	9809,26	12929,50	19089	85914,03
	Cloro Gasoso (kg)	34,6	37,9	10,23				82,73
	Fluorssilicato de Sódio (kg)	17,6	99,03	90,06	111,56	126,68	59,73	504,66
	Polímero Catiônico (kg)	756,3	1014	1336,93	1665,04	4811,65	1757	11340,92
	PAC 23 (kg)	3016,10	5619,69	8254,61	9567,59	18593,39	10784,4	55835,76
	Dicloroisocianurato de sódio (kg)				10087,72	19143,50		29231,22
	Cloreto de Sódio (kg)					2250	12200	14450
	Volumes	2009	2010	2011	2012	2013	2014.2	Total
	Volume Bruto Captado (m3)	761217,4	931143,3	931200,64	1151382	1571756	857264	6203962,9
	Volume Comercializado (m3)	744328,4	836700,3	894192,14	974655,8	1489175	816535	5755586,67
	Volume de Água de Lavagem dos Filtros (m3)	16889	27044	32369,00	176725,8	82581	40729	376337,8
	Análises	2009	2010	2011	2012	2013	2014.2	Total
	pH Bruta (UH)	7,16	7,44	7,35	7,24	7,52	7,74	7,41
	pH Final (UH)	7,15	7,40	7,31	7,17	7,42	7,8	7,38
	Cor Bruta (UC)	25,24	26,55	35,96	29,95	24,21	21,9	27,30
	Cor Final (UC)	9,85	8,86	13,38	9,28	6,17	6,5	9,01
	Turbidez Bruta (UT)	1,94	2,37	4,16	2,91	1,96	2,00	2,56
	Turbidez Final (UT)	0,69	0,81	1,42	1,32	0,87	0,85	0,99
	Cloro Residual Distribuído (mg/L)	0,8	0,87	0,78	0,72	1,81	2,73	1,29

PLANILHA DE DADOS QUALITATIVOS													
Itaitinga 2009	pH	6,6	-	6,3	-	3,2	7,6	6,4	7,5	6,6	8,2	7,5	7,4
	Sólidos Sed. (mL/L)	140	-	78	-	25	12	39	30	40	300	220	150
	SST (mg/L)	349	-	301	-	497	-	326	173	259	833	624	761
	D.Q.O. (mg/L)	131,6	-	87,1	-	156,9	48,1	188,7	78	158,7	603	437,5	575,4
	Alumínio (mg/L)	0,007	-	0,848	-	0,204	1,095	-	0,93	1,305	12,8	7,85	0,126
Itaitinga 2010	pH	-	-	7,00	8,2	6,8	7,6	7,8	7,2	7,2	7,62	7,65	7,52
	Sólidos Sed. (mL/L)	56	180	40	42	15	12	29	25	46	12	25	25
	SST (mg/L)	233	230	197	260	96	109	164	191	273	-	-	176
	D.Q.O. (mg/L)	199,3	205,6	170,2	243,1	93,1	127,5	157,8	183	295,1	83	216,4	192,7
	Alumínio (mg/L)	1,075	4,85	0,660	2,62	0,880	0,745	2,13	1,59	1,6	1,24	1,175	0,33
Itaitinga 2011	pH	7,49	7,71	7,78	-	7,68	7,7	7,57	7,28	7,85	7,24	7,46	7,77
	Sólidos Sed. (mL/L)	24	35	14	-	23	24	20	27	28	12	13	0,9
	SST (mg/L)	148	212	367	-	-	131	127	137	177	130	113	58
	D.Q.O. (mg/L)	174,8	239,5	170,2	-	174,3	185,3	173,5	119	44,9	123	108,5	51,9
	Alumínio (mg/L)	0,38	0,62	0,114	-	0,079	0,104	0,088	0,218	0,71	0,16	0,241	4,1
Itaitinga 2012	pH	7,36	7,87	7,21	7,34	6,92	7,23	7,35	7,31	7,86	7,75	7,59	6,95
	Sólidos Sed. (mL/L)	5	24	14	4	12	15	16	8,5	9	6,5	9	7
	SST (mg/L)	98	171	140	96	151	187	163	167	58	145	141	111
	D.Q.O. (mg/L)	55,6	153,8	91,8	77,8	95,1	126,4	136,4	83,3	98,4	103	89,9	69,6
	Alumínio (mg/L)	0,725	0,185	0,875	1,65	1,79	1,21	0,555	0,82	0,785	0,88	1,25	1,11

Itaitinga 2013	pH	7,48	7,81	7,83	7,49	7,89	7,23	7,13	8,05	8	7,52	-	7,62
	Sólidos Sed. (mL/L)	10	7	10	9	9	14	6,5	9	7,5	19	-	
	SST (mg/L)	128	94	107	109	145	167	124	78	78		-	92
	D.Q.O. (mg/L)	143,4	68,2	74,7	69,6	88,2	116,1	83,3	81,9	27,1	105	-	92,3
	Alumínio (mg/L)	2,375	0,575	0,5	0,95	0,625	0,975	0,575	0,575	0,7	0,65	-	0,775
Itaitinga 2014	pH	7,72	7,42	7,69	7,34	7,51	7,42	-	-	-	-	-	-
	Sólidos Sed. (mL/L)	9,5	38	16	17	20	11	-	-	-	-	-	-
	SST (mg/L)	47	158	83	169	124	74	-	-	-	-	-	-
	D.Q.O. (mg/L)	59,9	123,1	61,3	73,6	45,7	58,6	-	-	-	-	-	-
	Alumínio (mg/L)	0,525	0,5	0,575	1,05	1,3	0,825	-	-	-	-	-	-

Maranguape 2009	pH	7,6	-	7,7	7,0	4,1	3,4	7,4	7,4	7,0	7,7	7,2	8,0
	Sólidos Sed. (mL/L)	8	-	8,5	22	28,0	120	76	48	22	10,5	57	90
	SST (mg/L)	124	-	144	278	256	-	327	195	222	210	448	-
	D.Q.O. (mg/L)	86,5	-	69,9	109,9	104,7	218,1	218,4	154,1	167,6	163,2	391,4	329,3
	Alumínio (mg/L)	0,4	-	0,032	0,138	0,269	4,150	-	3,175	0,166	0,028	3,55	0,23
Maranguape 2010	pH	7,00	-	7,8	7,2	7,2	7,2	7,2	-	7,2	7,5	8,26	7,65
	Sólidos Sed. (mL/L)	200	22	26	15	6,0	8,5	30	-	14	35	18	15
	SST (mg/L)	415	103	143	164	112	102	264	-	219	-	-	123
	D.Q.O. (mg/L)	222,6	78,9	159,2	296,1	124	59,4	297,7	-	132,2	403,9	97,3	94,2
	Alumínio (mg/L)	1,16	0,293	0,163	1,160	0,990	0,920	2,25	-	5,275	2,55	1,35	0,725

Maranguape 2011	pH	-	7,78	7,51	7,77	7,68	7,95	7,73	8,23	7,94	7,78	7,62	7,87
	Sólidos Sed. (mL/L)	-	35	31	14	5,0	10	12	15	7,0	8	20	16
	SST (mg/L)	-	206	201	145	-	87	91	97,5	61	121	152	-
	D.Q.O. (mg/L)	-	209,4	178	87,6	113,6	118,2	169,4	152,9	62,7	162,3	118,6	126
	Alumínio (mg/L)	-	0,096	0,115	0,046	0,042	0,055	0,079	0,01	0,092	0,149	0,102	0,035
Maranguape 2012	pH	-	7,64	7,18	7,26	7,66	7,6	6,86	7,26	7,48	7,41	7,59	7,22
	Sólidos Sed. (mL/L)	-	20	23	38	10,0	6,0	2	3,5	9,0	10	5,5	24
	SST (mg/L)	-	238	154	233	87	73	49	50	93	104	90	139
	D.Q.O. (mg/L)	-	197,7	96,5	173,9	83,2	158,6	15,4	60,3	102,3	87,6	80,5	132,6
	Alumínio (mg/L)	-	1,93	2,29	5,82	0,98	0,87	0,490	0,48	0,77	0,134	0,72	0,86
Maranguape 2013	pH	7,60	7,62	-	7,21	7,67	-	7,34	-	7,83	-	7,23	7,33
	Sólidos Sed. (mL/L)	1,0	20	-	1,7	20,0	-	3,0	-	15,0	-	2,5	36
	SST (mg/L)	47	133	-	71	105	-	82	-	66	-	119	199
	D.Q.O. (mg/L)	134,4	141,8	-	74,2	112	-	100,2	-	86,6	-	172,1	129,7
	Alumínio (mg/L)	0,27	0,89	-	0,34	0,72	-	0,410	-	0,30	-	0,74	1,32
Maranguape 2014	pH	7,67	7,53	7,55	7,36	7,68	7,32	-	-	-	-	-	-
	Sólidos Sed. (mL/L)	17,0	13	15	14	17,0	5,0	-	-	-	-	-	-
	SST (mg/L)	154	96	91	135	129	64	-	-	-	-	-	-
	D.Q.O. (mg/L)	114,4	97,7	111,3	119,9	127,2	84	-	-	-	-	-	-
	Alumínio (mg/L)	0,41	0,7	0,46	0,62	0,54	0,4	-	-	-	-	-	-

Pacatuba 2009	pH	-	7,8	6,5	7,4	5,9	7,2	7,3	7,9	6,4	8,2	7,3	7,6
	Sólidos Sed. (mL/L)	110	225	54	310	250	250	300	200	450	200	500	200
	SST (mg/L)	417	775	164	802	970	-	704	420	929	583	1471	466
	D.Q.O. (mg/L)	384,2	579,3	171,3	506,1	482,4	336,3	503,1	298,1	674,6	295,7	664,1	362,7
	Alumínio (mg/L)	0,050	0,314	0,234	0,365	14,050	7,375	6,35	4,525	8,7	13,45	20,3	0,298
Pacatuba 2010	pH	-	-	6,2	6,8	6,8	7,2	6,8	7,4	7,2	7,49	7,72	7,8
	Sólidos Sed. (mL/L)	34	52	140	110	130	37	11	81	30	3,5	76	3,5
	SST (mg/L)	138	117	410	278	318	157	60	217	157	-	-	75
	D.Q.O. (mg/L)	90,6	80,6	297,9	203,9	251	141	72,1	182,6	45,4	84,8	169,4	47,4
	Alumínio (mg/L)	1,100	0,31	2,450	2,225	3,100	2,700	0,73	4,05	1,47	0,975	2,925	0,44
Pacatuba 2011	pH	7,73	7,82	7,57	7,51	7,47	7,5	7,11	7,3	7,57	7,02	7,81	7,2
	Sólidos Sed. (mL/L)	7,5	3,5	50	0,3	13	100	110	0,5	130	43	1	170
	SST (mg/L)	51	129	201	-	-	203	283	56	256	177	36	330
	D.Q.O. (mg/L)	50,5	207,6	110,6	76,6	139,4	260,7	322,9	170,6	228,6	150,4	3,9	214,7
	Alumínio (mg/L)	0,27	0,07	0,11	0,006	0,091	0,087	0,105	0,021	0,252	0,183	0,026	-
Pacatuba 2012	pH	7,25	7,62	7,42	7,35	7,46	7,54	7,05	7,28	7,26	7,39	7,44	-
	Sólidos Sed. (mL/L)	11	0,8	84	0,2	40	42	3	1,5	2,5	44	30	-
	SST (mg/L)	119	45	250	28	164	222	116	45	40	176	159	-
	D.Q.O. (mg/L)	114,2	65,4	160,6	39,1	110,3	103,8	98,1	53	51	110,1	142	-
	Alumínio (mg/L)	0,065	0,01	3,8	0,049	2,68	8,9	0,3	0,32	0,17	2,84	1,25	-
Pacatuba 2013	pH	7,08	7,34	7,23	7,14	6,04	7,25	7,54	7,54	7,45	7,39	7,18	7,52
	Sólidos Sed. (mL/L)	5	4	23	30	46	5	70	6	7	60,2	70	-
	SST (mg/L)	71	55	232	226	201	41	262	91	81	-	267	243
	D.Q.O. (mg/L)	87,6	79,8	216,1	153,1	148,9	58,6	211,7	81,4	42,6	128,9	224	176,9

	Alumínio (mg/L)	0,69	0,48	1,55	2,29	2,42	0,51	1,2	0,40	0,29	1,04	1,83	1,98
Pacatuba 2014	pH	7,63	7,47	7,44	7,36	7,40	7,8	-	-	-	-	-	-
	Sólidos Sed. (mL/L)	40	80	34	86	60	150	-	-	-	-	-	-
	SST (mg/L)	139	281	146	198	146	412	-	-	-	-	-	-
	D.Q.O. (mg/L)	131,7	119,9	108,7	120,6	95,4	249,0	-	-	-	-	-	-
	Alumínio (mg/L)	1,27	1,67	1,18	2,28	1,7	5,025	-	-	-	-	-	-

